الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة الأنتاج والمعادن

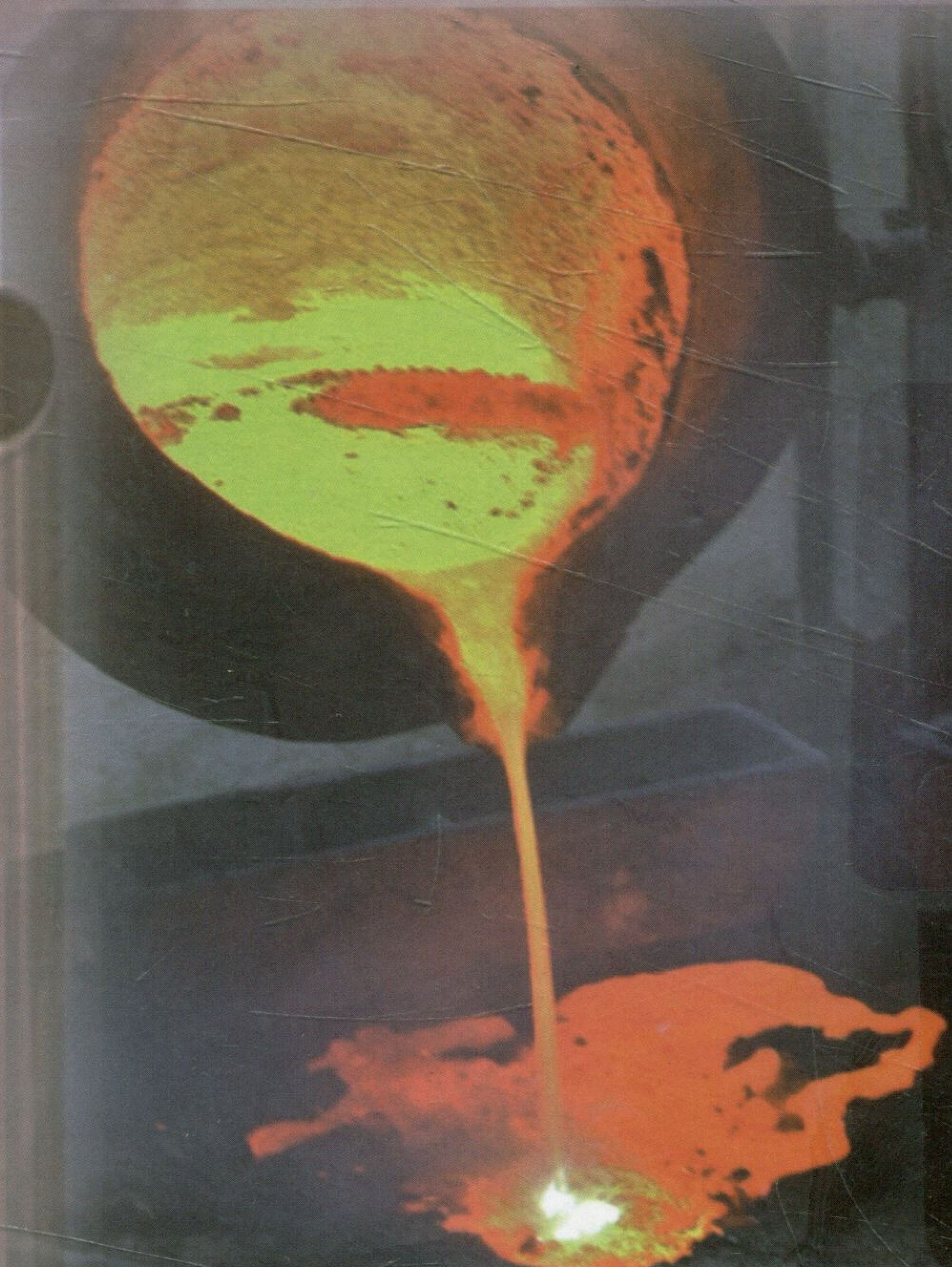
النحاس وسبائكه

انتاجه وبنيته وتطبيقاته

الأستاذ المتمرس الدكتور
جعفر الحيدري

المهندس
عماد الدين ابراهيم

المهندس
محمد علي ذياب





بسم الله الرحمن الرحيم

النحاس وسبائكه

أنتاجه وبنيته وتطبيقاته

النحاس وسبائكه

أنتاجه و بنيته وتطبيقاته

الاستاذ المتمرس الدكتور جعفر الحيدري

المهندس عماد الدين ابراهيم   المهندس محمد على ذياب

قسم هندسة الانتاج و المعادن

الجامعة التكنولوجية

بغداد – العراق

الطبعة الأولى

2013 م – 1434 هـ

شكر و تقدير

وكتاب النحاس وسبائكه، انتاجه وبنيته وتطبيقاته، على وشك الطباعه لا يسعنا ألا ان نتقدم بخالص شكرنا وتقديرنا الى كل من ساعد في اخراج هذا الكتاب على هذا النحو. ونخص بالذكر الاخ الاعز الدكتور عماد سعدي الحسني - التدريسي في قسم هندسة المواد - الجامعه التكنولوجيه- بغداد- العراق. وكذلك السيد المهندس مصطفى الحيدري سائلين الله ان يحفظهما من كل مكروه وان يجعلهما نبراسا و عونا لرواد العلم والمعرفه وان يوفقهما لما فيه الخير والصلاح انه على كل شيء قدير.

المؤلفون

الإهداء

الى كل الوطنيين الاحرار الذين نذروا انفسهم لأنقاذ هذا الوطن الحبيب...

الى كل من عمل ما امكنه او قال كلمة لخلاص هذا الوطن الجريح

العـــــــــــــراق...

نهدي مجهودنا هذا

والله من وراء القصد

المؤلفون

الفهرس

الفصل الثالث

الصهرو السباكة

الفصل الرابع

البثق والسحب

الفصل الخامس

الدرفلة

الفصل السادس

التخريم والسحب العميق

الفصل السابع

المعالجات (المعاملات) الحرارية للنحاس وسبائكة

الفصل الثامن

العيوب التصنيعية في المنتجات

الفصل التاسع

تشغيل النحاس وسبائكه

الفصل العاشر

التاكل في النحاس وسبائكه

الفصل الحادي عشر

وصل النحاس وسبائكه

الفصل الثاني عشر

الخواص الميكانيكيه وبعض الخواص الاخرى

المقدمة

لقد تطلب التطور الحضاري للبشرية الى استخدام مختلف انواع المواد، وحسب ما تتمتع به من خواص، ومنها المعادن والسبائك في التطبيقات الصناعية والاستخدامات الاخرى وبقدر ما تتطلبه الحاجة الى ذلك.

يمكن تقسيم السبائك بصورة عامة الى مجموعتين اساسيتين هما السبائك الحديدية (Ferrous alloys) والتي يمثل الحديد العنصرالاساس فيها غالبا. واخرى لا حديدية (Nonferrous alloys) وتشمل بقية السبائك والمعادن الاخرى كالنحاس والخارصين والالمنيوم والرصاص والتيتا نيوم وغيرها.

لاتزال السبائك الحديدية تُنتج بكميات كبيرة في العالم قد تفوق بمعدلات انتاجها جميع السبائك غير الحديدية. وبالرغم من ذلك فان السبائك والمعادن اللاحديدية لها تطبيقاتها الصناعية الحاسمة كالالمنيوم وسبائكه في صناعة الطائرات ومَركبات النقل والاواني المنزلية لخفته وانطلائه بطبقة واقية من اوكسيده وكذلك التيتانيوم في مجال الصواريخ والنقل والطب، والفضة في صناعة افلام التصوير والحلي والتنكستن في صناعة شعيرات المصابيح الكهربائية والمسخنات وتطبيقات درجات الحرارة العالية وهكذا بالنسبة لبقية المعادن وحسب الاستخدامات التي تلائمها اضافة الى الاعتبارات الاقتصادية والتوفر.

ولكن النحاس يمتازعلى كل المعادن الاخرى (عدا الفضة) بتوصيليته الكهربائية والحرارية العاليتين وكذلك تمتاز كثيرا من سبائكه بميزات صناعية مهمة. فتستخدم في اللحام والصناعات البحرية والديكور ...الخ لمقاومتها العالية نسبيا للتاكل، اضافة الى ما للنحاس وسبائكه من الاهمية الكبرى في الصناعات العسكرية.

إستُخدم النحاس منذ القدم (اي قبل ما يقرب من 3000 سنة قبل الميلاد حسب المصادر التاريخية واللقى الاثارية) حيث إمتاز البابليون والسومريون والمصريون بمهارة تصنيع المعدات والتماثيل والاواني التي تعد رمزا كبيرا وتراثا مهما في عالمنا المعاصر.

وقد شهد التطور الصناعي استخداما واسعا للنحاس وسبائكه لكونه يمتاز بخواص قد لا تتوفر في المعادن الاخرى. وحيث ان صناعة النحاس وسبائكه تعد صناعة ناشئة نسبيا في الوطن العربي فقد راينا ان من الضروري اعداد مثل هذا الكتاب لما سيعود بالفائدة على العاملين في هذه الصناعة من جهة الى جانب طلبة الجامعة كطلبة اقسام هندسة المعادن والانتاج الميكانيك والهندسة الصناعية اضافة الى طلبة المعاهد الفنية وكليات المجتمع من جهة اخرى. لما نأمله من أن يسهم ذلك في دعم هذه الصناعة في وطننا العربي الكبير.إضافة الى ان الكتاب يلقي الضوء على الخواص الصناعية للنحاس وسبائكه وما يتعلق من اسس لتكنولوجية التصنيع.

ومن الجدير بالذكر انه قد استخدمت المواصفة الالمانية DIN او نظام جمعية تطوير النحاس (Copper Development Association) (CDA) اي نظام الترقيم الموحد (Unified Numbering System) على حد سواء في تشخيص وتصنيف النحاس وسبائكه وفي مختلف فصول الكتاب.

و الكتاب غني بالجداول العددية والرسوم التوضيحية والمنحيات الاساسية التي تصف سلوك النحاس وسبائكه وتصنيعها وعند مختلف الظروف. وبذلك نامل من الله العلي القدير باننا قد وفقنا لتقديم ما لدينا من خبرة نظرية وعملية لمن يعنيهم ذلك من الناطقين بالضاد والله نسال ان يوفقنا الى ما فيه نفع المهندسين و الصناعيين والطلبة على حد سواء انه نعم المولى ونعم النصير.

المؤلفون

مدخل الى النحاس وسبائكه

Introduction to Copper and Its Alloys

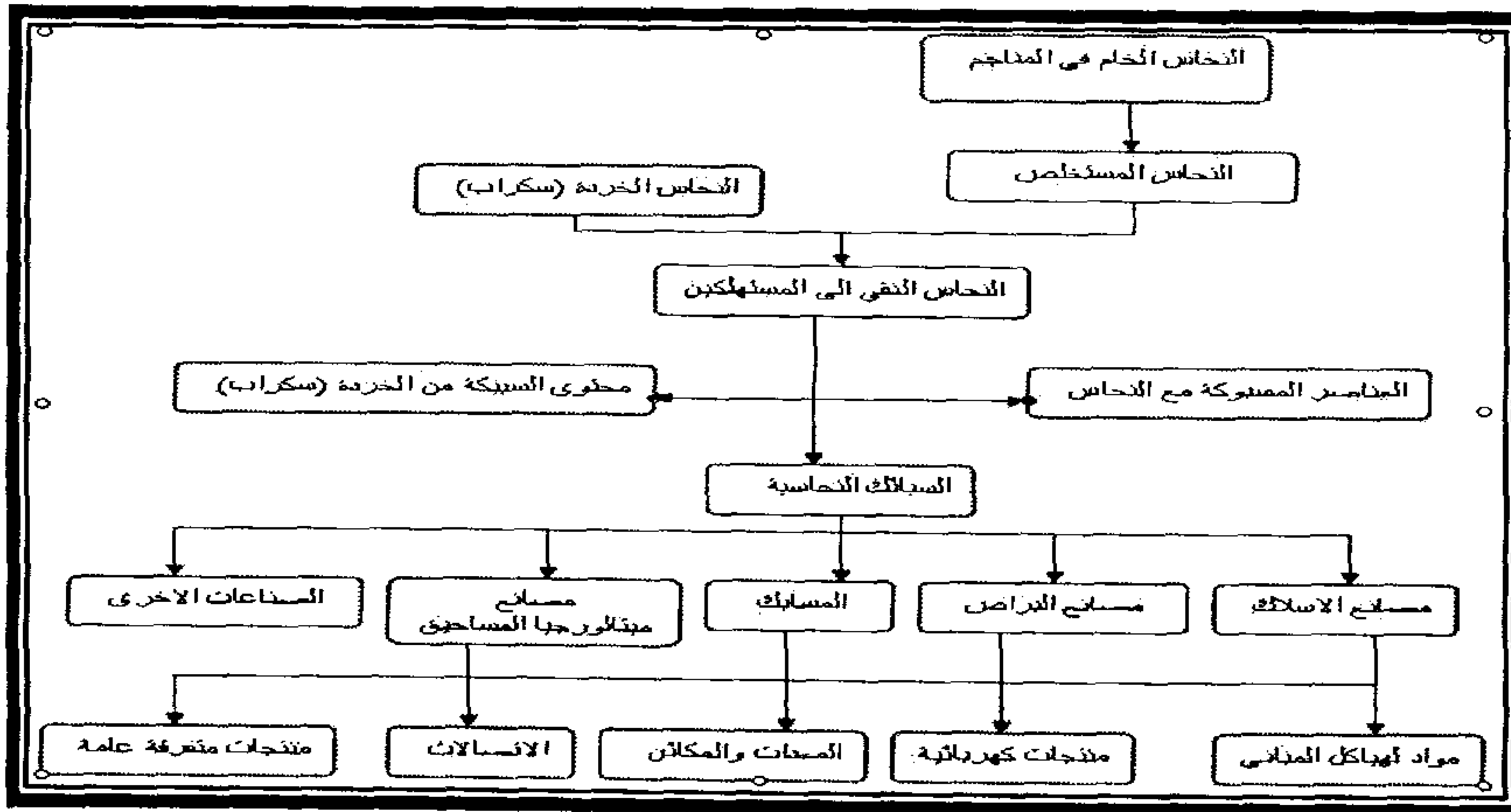
يعتبر النحاس من العناصر ذات النسب القليلة في القشرة الارضية، فهي تحتوي على(% 1 . 0) منه في كتلتها. وقد يستخدم النحاس بنقاوة عالية، وعندما يشار الى استخدماته يلفت النظر الى قابليته العالية للتوصيل الحراري والكهربائي وقابليته للتشكيل والتشغيل ومقاومته العالية للتآكل اضافة الى مقاومته (Strength) العالية. ويمتازالنحاس بسطح براق وجميل عند صقله. والنحاس معدن غير مغناطيسي (Para magnetic) وسهل التصنيع ومتين (Tough). وعندما تستدعي الحاجة لتحسين احدى خواصه آنفة الذكروخاصة المقاومة يتم ذلك باضافة بعض المعادن اليه لتنتج السبائك النحاسية والتي سيتم التعرف عليها في فصل لاحق من هذا الكتاب.

هناك حلقتان رئيسيتان في صناعة النحاس وسبائكه هما:

1- استخلاص النحاس من خاماته.

2- تصنيع النحاس وسبائكه بالسباكة وطرائق التصنيع الاخرى.

ويبين الشكل أدناه مخططا للعمليات والمراحل التي يمر بها النحاس من المنجم وحتى وصوله الى المستهلكين.



مخطط للعمليات والمراحل التي يمر بها النحاس وسبائكه

الفصل الاول

مصادر النحاس وتوفره

الفصل الاول

مصادر النحاس وتوفره

1-1 تواجد النحاس عالميا:

يتواجد النحاس في دول مختلفة من العالم كما في الشكل (1-1) حيث يبين الدول التي تتضمن اهم مناجم النحاس في العالم ولقد حدد بعض الباحثين احد عشر اقليما نحاسيا في العالم الشكل (1-2) والاقليم هو بقعة جغرافية تحتوي على رواسب معدنية ذات انواع واعمار مختلفة. هذه البقع او المساحات قد تكون متجاورة او متراكبة في بعض اجزائها وهذه المساحات قد تمتد عدة الاف من الكيلوميترات او اقل من ذلك. ويظهر الشكل انف الذكر مواقع اهم (55) راسب نحاس في العالم والتي يزيد المحتوى الفلزي لكل راسب منها على مليون طن. كما يظهر مواقع (20) راسب نحاس اخرى ذات اهمية معقولة. وتتواجد خارج الاقاليم السالفة الذكر(ستة رواسب منها في المنطقة العربية)

وفيما يلي اقاليم النحاس هذه حسب تسلسل اهميتها :-

1- اقليم الانديز
2- اقليم الكرديليتيز الغربي لامريكا الشمالية
3- اقليم افريقيا الجنوبية
4- اقليم البحيرات الكبرى في امريكا الشمالية
5- اقليم اوربا الشمالية
6- اقليم اورال – كازاخستان
7- اقليم شرق البحر المتوسط
8- اقليم هولغا
9- اقليم الفلبيين

10-اقليم اليابان

11- اقليم استراليا الشرقية

2-1 احتياطات النحاس العالمية ووفرة النحاس:

قام بعض الباحثين بدراسة حول وفرة النحاس عالميا، وقد قدمت الى مؤتمر التعدين العالمي الحادي عشر. حللت الدراسة معطيات (271) منجما لرواسب نحاس معروفة عالميا والمتواجدة في اربعين دولة. تم تقسيم العالم الى ستة مناطق.



الشكل (1-1)

خارطة العالم تبين المناطق الاساسية المنتجة للنحاس

أمريكا الشمالية:

1- البحيرات الكبرى.

2- مونتانو.

3- أوتا.

4- نيفادا.

5- أريزونا.

6- مكسيكو.

7- مانيتوبا.

8-اونتاريو.

9- كوبيك.

أمريكا الجنوبية.

10- بيرو.

11- شيلي.

أفريقيا:

12 - زائير.

13- زامبيا.

14- بوتسوانا.

15- زمبابوي.

16- جنوب افريقيا.

17- ناميبيا.

18- نايجيريا.

اوروبا:

19- فنلندا .

20-المانيا.

21-أسبانيا.

22- يوغسلافيا.

23- تركيا.

24- قبرص.

25-روسيا الاتحادية.

أستراليا :

26- كونيزلاند.

27- تسمانيا.

آسيا:

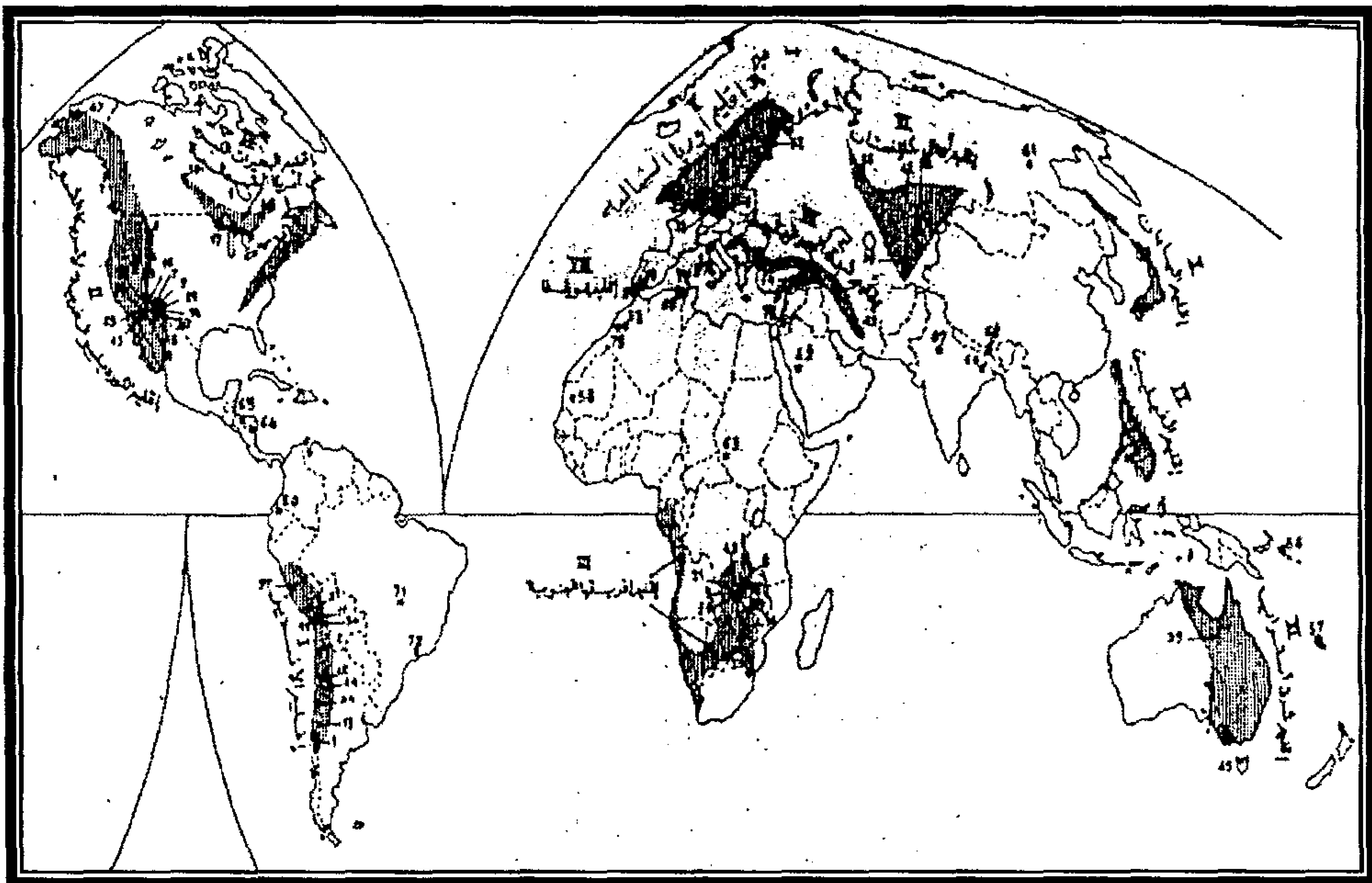
28- كويانا الجديدة بابو.

29-الهند.

30-اليابان.

31- كوريا.

32-الصين



الشكل(1-2)

المواقع الجغرافية لأقاليم النحاس العالميه.

اما أسماء المناطق المرقمـه في هـذه الاقـاليم إضـافة الى بعـض المنـاطق الانفراديـه لتواجد النحاس فمبينه في أدناه.

مناطق رواسب النحاس الهامة (اكثرمن مليون طن) داخل اقاليم النحاس العالمية :

1	براون التيشينتي	20	صان مانويل	39	مونت اسبا
2	كوكو يكاماتا	21	بانكروفت	40	كيبوشي
3	لوبان	22	مانسفيلد	41	لوتوبان
4	بنجام	23	كورنيليا الشمالية	42	بيشاكول
5	نشانجاميبولا	24	بوتريريلوس	43	دوفار
6	بوت	25	ستاريتايانوفر	44	انداكولو
7	لون ستار	26	السي	45	مولت ليبل
8	موخوليرا	27	ري	46	ماجدا نبيك
9	مورينسي	28	كانانيا	47	روبي كريك
10	نكانا ميندولا	29	الماليك	48	هورن كويمونت
11	كواجونز	30	بالوبا	49	سارشيسميد
12	السلفادور	31	نسيمارون	50	فلين فلون
13	ديسبوتادا	32	كونراد	51	شامبيشي
14	رون مولياشي	33	بالابورا	52	اوتوكومبو
15	توكوبالا	34	كويلافيكو	53	تارسيس
16	كاستل دوم	35	فيردي المتحدة	54	ارجاني وايس
17	وايت باين	36	تيرون	55	ديزجارسك
18	بيسبي	37	موروكوشا		
19	ريوتنتوبانافلور	38	منيرال هل		

مناطق رواسب النحاس الهامة خارج اقاليم النحاس العالمية:-

56	بوجين فيل	64	بونازا	72	نكويلاندبا
57	اوندو	65	ميناس دي اورو	73	كاكابافا
58	اكجوجت	66	سيلج بور	74	تيمناع
59	بليدة	67	فيتري	75	مولتي كاتيني
60	ماكوشي	68	بوتان	76	ونسيمي
61	اودوكان	69	كافالو	77	
62	جبل صايد	70	عين برير	78	
63	حفرة النحاس	71	كف ام طبول	79	

ويتبين من الجدول (1-1) الذي يعطي المعلومات الاساسية عن احتياطات النحاس لكل منطقه ان احتياطات النحاس العالمية المقدرة لعام 1980 تصل الى (415) مليون طن متري من فلز (معدن) النحاس.

كما يتبين من الجدول (1-1) ان احتياطات شيلي من رواسب امريكا الجنوبية تشكل حوالي 70% وان احتياطيات امريكا الشمالية تشكل حوالي ثلث موارد النحاس في العالم والتي ياتي 65% منها من الولايات المتحدة.

ان الرواسب الافريقية تمثل اكبر نسبة محتوى (تركيز) فلزي (معدني) من رواسب اية منطقة اخرى في العالم اي بمعدل 2.75% من وزن الخام. فمعدل المحتوى الفلزي لرواسب النحاس في زامبيا وزائير، على سبيل المثال، والتي تمثل اهم الرواسب الافريقية يصل الى حوالي 3.5% في حين ان معدل المحتوى الفلزي لرواسب امريكا الجنوبية حوالي % 0.87 ومعدل المحتوى الفلزي لرواسب امريكا الشمالية هو 0.63%.

لقد خضع الهيكل الصناعي للنحاس وسبائكه في الولايات المتحدة، باعتبارها المنتج والمستهلك الاول في العالم، لتغيرات كبيرة خلال العقود القليلة الماضية.ففي سنة 1966، على سبيل المثال، كانت الولايات المتحدة ببساطة اكبر منتج ومستهلك للنحاس

المستخرج من المناجم الى جانب ذلك كانت الشركات الامريكية مسؤولة عن اغلب انتاج المناجم الشيلية وهذا يعني ان الولايات المتحدة تسيطر فعليا على حوالي 45% من الانتاج العالمي للنحاس. الا انه تم في نهاية الستينيات تاميم مناجم النحاس في شيلي وقد وسعت الحكومة الشيلية استخراج خامات النحاس من المناجم. اما انتاج الولايات المتحدة في الوقت الراهن فهو حوالي 16% من الانتاج العالمي.في حين ان انتاج شيلي يبلغ حوالي 18% يصدر معظمه الى الخارج وهي تمتلك اكبر احتياطي عالمي من النحاس اما المنتجين المهمين الاخرين في العالم فهم كندا وزامبيا وزائير وبيرو. اما بقية انتاج المناجم في البلدان الاخرى فيقدر بحدود 60% والشكل (1-3) يبين احصائية انتاج المناجم من النحاس عالميا وتغيره مع الزمن ومنذ سنة 1890 حتى حوالي 2005.

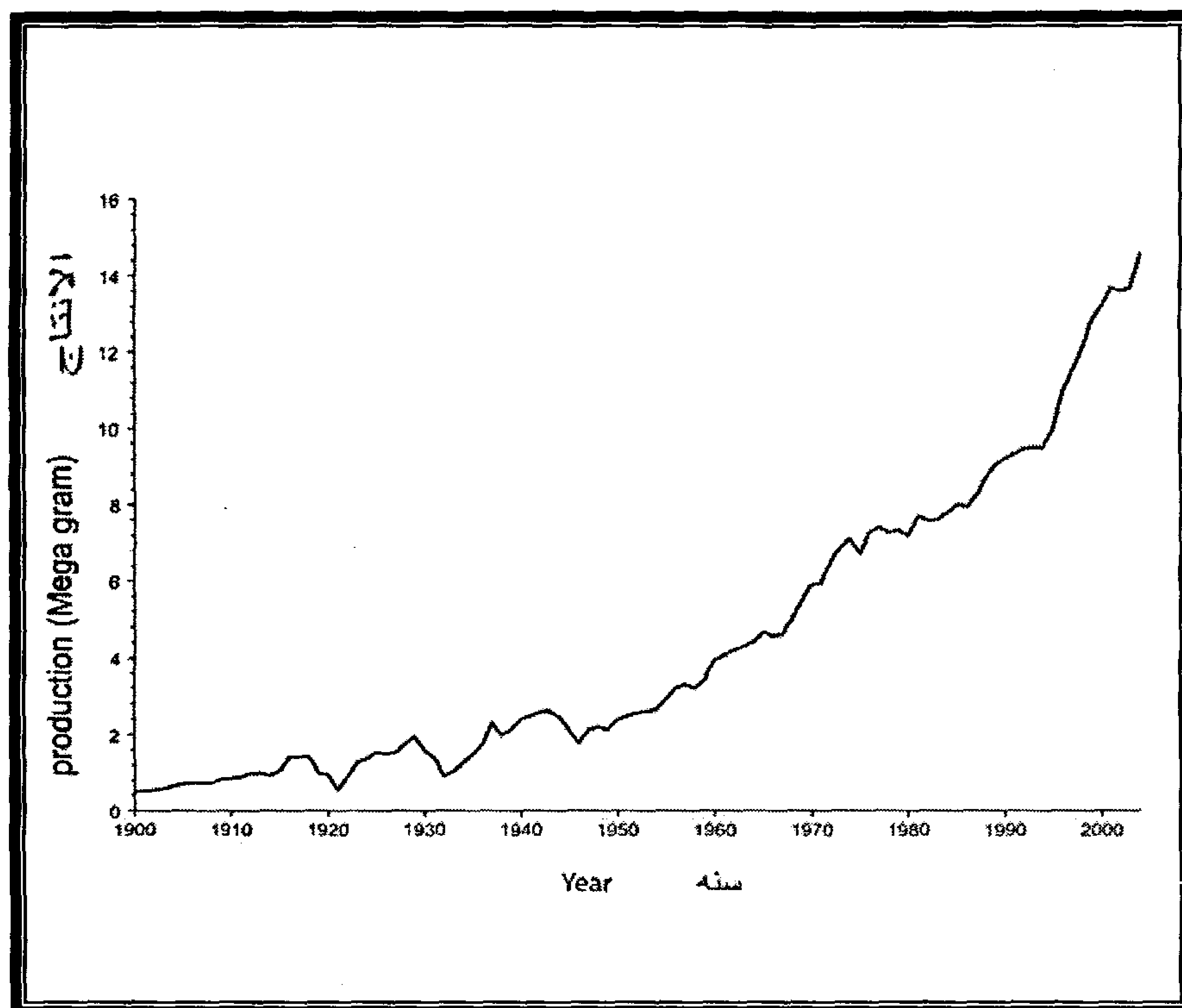
اما نسبة استخدام النحاس وسبائكه في المجالات التطبيقية المختلفة في الولايات المتحدة، باعتبارها اكبر سوق لهذه المواد، في سنة 1980 ومقارنة ذلك مع سنة 1989 فمبين في الجدول (1-2). حيث يلاحظ ان الاستهلاك في مجال التوصيلات الكهربائية لقطاع البناء والانشاءات هو الاكثر يليه قطاع التدفئة وانابيب الصرف الصحي وهكذا يتدرج في بقية المجالات.

اما انسياب النحاس في اقتصاد الولايات المتحدة فيبينه الشكل (1-4) اعتمادا على بيانات سنة 1989.

الجدول (1-1)

معلومات عن موارد النحاس حسب المناطق

المنطقة	عدد الرواسب	محتوى النحاس في الخام %	المادة الخام في المنطقه (مليون طن متري)	محتوى النحاس (مليون طن متري)	النحاس القابل للاسترجاع (مليون طن متري)	النسبة من المجموع العالمي (%)
امريكا الجنوبية	37	0.87	15990	140	119	36
امريكا الشمالية	118	0.63	21044	133	108	33
افريقيا	34	2.75	2228	67	47	14
شرق اسيا واستراليا	48	0.67	7372	49	36	11
الشرق الاوسط وغرب اسيا	17	1.04	1205	12	10	3
اوروبا	17	0.59	2366	14	11	3
المجموع العام	271	0.82	50407	415	330	100



الشكل (1-3)

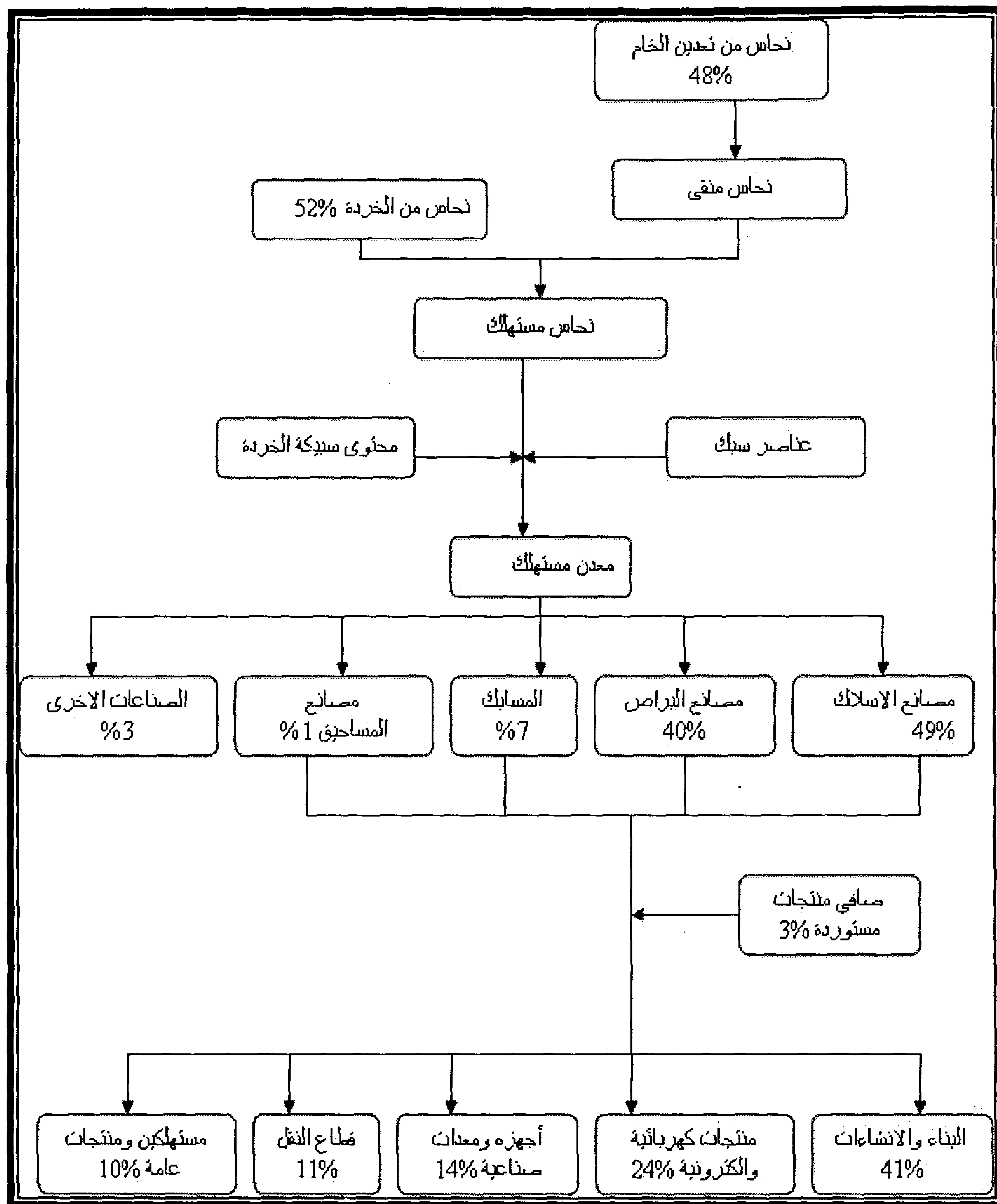
انتاج مناجم النحاس العالمية

وبالرغم من مرور حوالي خمسة الاف سنة من تاريخ النحاس الا ان حوالي ثلاثة ارباع مجموع النحاس المستهلك استخدم منذ فترة الحرب العالمية الثانية.

جدول(1-2)

الاستخدامات الاساسية الاخيرة للنحاس وسبائكه في الولايات المتحدة في سنة 1989 ومقارنتها مع سنة 1980.

التطبيقات	بالمئة من المجموع (%)	
	1980	1989
التوصيلات الكهربائية في حقل البناء	10.7	16.9
التدفئة والصرف الصحي	13.4	14.9
المركبات والشاحنات والباصات	8.7	9.8
الاتصالات	13.1	8.1
استخدامات الطاقة	7.4	7.7
تكييف الهواء والتبريد التجاري	6.3	7.1
معدات صناعية	8.4	7.1
الالكترونيات	4.2	5.7
الادوات والتمديدات السلكية	2.9	2.7
العملة المعدنية	2.7	0.9
الاستخدامات الاخرى	18.7	15.7



الشكل(1-4)

انسياب النحاس في اقتصاد الولايات المتحدة. النسبة المئوية معتمده على بيانات سنة 1989.

3-1 النحاس في الوطن العربي:

أ. وجوده:

دلت الاكتشفات الجيولوجية التي اجريت للتحري عن مكامن النحاس على وجودها في الصخورالقديمة التكوين وبشكل تكتلات كبريتوزية معقدة في خامات اهمها الشالكوبيرايت مختلطة احيانا مع الفضة والذهب والحديد والرصاص والخارصين وبنسب متفاوتة. اما اهم مناطق هذه الترسبات في الوطن العربي فهي جبل صائد والعمار ووادي بيدة وجرمة وام الدمار والنقرة في المملكة العربية السعودية. وفي الصحراء الجنوبية لمصر وفي منطقة حفرة النحاس بالسودان ومنطقة زينات في شمال الصومال. كما اكتشفت ترسبات النحاس في الصخور الرسوبية مختلطة بالرصاص والخارصين والمنغنيز والانتيمون في وادي عربة في الاردن ووادي جري في عُمان ومنطقة تيتوان وجبيليت بالمغرب وكذلك في العراق وتونس والجزائر وموريتانيا.

كما تتميز منطقة شمال الدرع الغربي في سوريا والاردن وفلسطين بوجود خامات النحاس في الصخور الرسوبية في طبقات الدولومايت والحجر الرملي والجيري.

ب. انتاجه :

يتمركز حاليا استغلال ترسبات النحاس في الوطن العربي في اقصى المغرب العربي في كل من موريتانيا والمغرب و الجزائر.ولا يشكل هذا الانتاج نسبة كبيرة بالنسبة للانتاج العالمي. ولكن الدراسات دلت على وجود مكامن لترسبات النحاس في حوض البحر الاحمر(السعودية ومصر والسودان واليمن).

بلغ الاحتياطي الاكيد من الرواسب النحاسية في جبل صايد بالسعودية 7 مليون طن من الخام الحاوي على 2% نحاس و 1.4% خارصين و40 غرام لكل طن فضة و 0.5 غرام لكل طن ذهب. وفي السودان بلغ الاحتياطي المؤكد 5 مليون طن من الخامات الحاوية على 4.11 نحاس، اما الأحتياطي المحتمل فهو 4 مليون طن من خامات نحاسية تحتوي على 3.98% من النحاس.

اما في الاردن فيبلغ احتياطي وادي عربة من خامات النحاس حوالي 55 مليون طن فيها نسبة نحاس 1.36%.

تنتج موريتانيا من النحاس بحدود عشرة الاف طن سنويا والمغرب خمسة الاف طن سنويا والجزائر خمس مائة طن سنويا.

اما اهم المشاريع العربية لتعدين خامات النحاس فهي كما موضحة في الجدول (1-3).

جدول (1-3)

اهم المشاريع بالمنطقة العربية لتعدين النحاس.

البلد	اسم المشروع	الملاحظات
موريتانيا	اكجوجت	تبلغ الطاقة الانتاجية لمنجم اكجوجت حوالي 20 الف طن سنويا من خامات النحاس الذي تتراوح نسبة معدن النحاس فيه 66 الى 73.3% وقد اكتشفت خامات جديدة نحاسية في نفس المنطقة واعدت خطط لتطويرها
المغرب	- بوسكور - تانسريفت - البليدة	تبلغ قيمة انتاج المنجمين من الخامات حوالي 6 مليون دولار سنويا. يهدف المشروع الى انتاج وتركيز النحاس بطاقة انتاجية سنوية تبلغ 30 الف طن سنويا وتقدر قيمة الانتاج السنوية بحوالي 14 مليون دولار
الاردن	وادي عربة	تم تقدير احتياطي وادي عربة من خامات النحاس بحوالي 55 مليون طن بنسبة محتوى 1.36 % من معدن النحاس والطاقة الانتاجية لهذا المشروع 30 الف طن من النحاس سنويا.

1-4 مصادر النحاس:

يبين الجدول (1-4) انواع خامات النحاس التي يتم الحصول عليها من المناجم، ويتواجد النحاس في الطبيعة على هيئة تكتلات كثيفة من كبريتيدَي النحاس والحديد او

على هيئة دقائق صغيرة متناثرة في الصخور الحرارية. وتكون خامات النحاس المختلطة بشكل منتجات غير تامة التأكسد من خامات النحاس الكبريتيدية. وغالبا ما تكون خامات النحاس ذات تركيب معقد متحدة مع فلزات اخرى او مخلوطة معها كالخارصين والرصاص والمولبدنوم والذهب والفضة وكذلك الكبريت والسيلنيوم والتليريوم و الثاليوم والكوبلت وغيرها من العناصرالاخرى.

تحتوي مركزات النحاس الناتجة بعد عملية التركيزعلى نسبة تتراوح بين(%11-35) من النحاس. اما في باقي عمليات التعويم التفاضلي للخامات المعقدة فينتج بالاضافة الى مركز النحاس، مركزات الرصاص والخارصين والنيكل والتي تستخدم بدورها كمادة خام في انتاج الفلزات آنفة الذكر. وتعالج خامات النحاس مع المولبدنوم لاستخلاص مركزات كل من النحاس والمولبدنوم وكذلك تعالج خامات النحاس مع الكوبلت لاستخلاص مركّز الكوبلت منها.

جدول (1-4)

يبين اهم خامات معدن النحاس في الطبيعة.

التكوين الكيمياوي للخام	الاسم العلمي للخام	
$CuFeS_2$	شالكوبيرايت	Chlcopyrite
Cu_2S	شالكوسايت	Chalcocite
CuS	كوفيلايت	Covelite
Cu_3FeS_3	بورنايت	Bornite
Cu_3AsS_4	اناجايت	Enagite
Cu_3SbS_4	فاماتنايت	Famatinite
Cu_3SbS_3	تتراهيدرايت	Tetrahedrite
$CuCO_3.Cu(OH)_2$	مالاسايت	Malacite
$CuCO_3.Cu(OH)_22$	ازورايت	Azurite
$CuSiO_3.2H_2O$	كريسوكولا	Chrysocolla

التكوين الكيمياوي للخام	الاسم العلمي للخام	
Cu_2O	كبرايت	Cuprite
CuO	تينورايت	Tenorite
$CuSO_4.5H_2O$	شالكونثايت	Chalconthite
$CuSO_4.3Cu(OH)_2$	بروكونايت	Brochonite
$CuCl_2.3Cu(OH)_2$	اتاكمايت	Atacamite
$CuSO_4.3Cu(OH)_2$	كرونكايت	Krohnkite
Cu_3AsS_3	تينانتايت	Tennantite

ومن الصعب الحصول على مركزات غنية بالنحاس بسبب تداخل المعادن المختلفة مع بعضها، ويتم الحصول على المركز(الركاز) مع نسبة من البيريت وذلك بتعويم (Floatation) خامات النحاس او الحصول على خليط مركز من النحاس والبيريت ثم يفصلان عن بعضهما بالتعويم ايضا. ويمكن استخلاص% 85 نحاس من خام البيريت على هيئة مركز نحاس. كما ويستخدم البيريت المستنفذ في صناعة حامض الكبريتيك لاحتوائه على نسبة (40%-50) من الكبريت واما الخامات المعقدة للنحاس والخارصين فيمكن اسخلاص (80%-90) من النحاس و(65%-70) من الخارصين الموجود فيها والجدول(1-5) يبين تراكيب مركزات النحاس.

الجدول(1-5)

التراكيب الكيمياوية لمركزات النحاس.

الخام الاصلي	التكوين الكيمياوي وزنا بالمئة (wt %)						
	Cu	Zn	S	Fe	SiO_2	Al_2O_3	CaO
البيريت	20-11	7-4	37-35	37-32	5-3	7-3	2-0.5
نحاس- خارصين	15-11	4-2	35-30	30-25	5-3	7-5	2-0.5
الخامات المتناثرة	25-20	------	30	27-25	10-5	8-5	5.2-0
الخامات الصخرية	35-28	------	20-10	20-16	30-29	8-5	2-1

تصنع كميات لابأس بها من النحاس عن طريق الخردة (Scrap) و المنبوذات (رايش المصانع) ويسمى النحاس الثانوي. وتجري معالجة مختلف انواع النحاس الاصفر(البراص) والبرونزعلى انفراد حيث تصهر وتحول الى سبائك بعد ضبط النسب المئوية لمركباتها. ثم ترسل الخردة الفقيرة بالنحاس او ما يطلق عليها بالخردة غير المصنفة الى مرحلة اعادة عمليات التركيز للحصول على النحاس النقي. وتنتمي الى النحاس غير المصنف النفايات التي لا يمكن تصنيفها ابدا والتي تحتوي عادة على% 8- 15 من النحاس.

5-1 أستخلاص النحاس:

يستخلص النحاس من خاماته ومركزاته بطريقتين هما الصهر والنض (leaching) ويقدر % 90 من الانتاج العالمي مستخلصا بطريقة الصهر او ما يسمى بالطريقة الميتالورجية الحرارية (Pyrometallurgical).

ان اكثر من 90%من معدن النحاس المنتج عالميا يستخلص من خاماته الكبريتيدية. يوضح الجدول (1-4) اهم انوع خامات النحاس المتواجدة في الطبيعة.

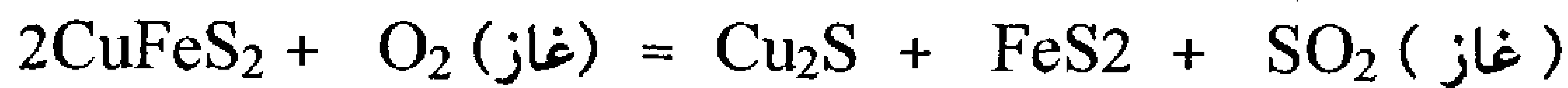
أولا: طريقة الصهر:(Melting)

تؤخذ خامات النحاس التي تكون على شكل كبريتيدات او اكاسيد الى عمليات التركيز وهي:

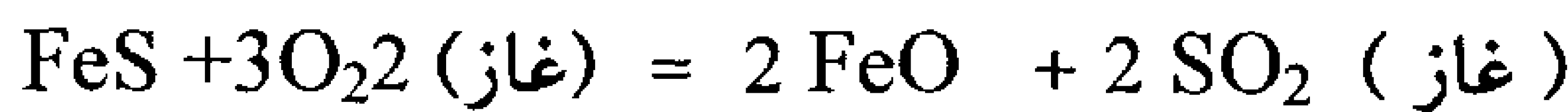
1- طريقة التعويم الرغوي (Floating)، وتتم بعد سلسلة متعاقبة من عمليات التكسير والطحن لتحرير المعدن من الشوائب حتى يصل تركيز المعدن في الخام من% 20- 40.

2- عملية تحميص الخام المركز(Roasting) وفيها تتم اكسدة خامات النحاس الكبريتيدية وذلك بتسخينها في الهواء.حيث ينتج عنها خام مركز ومحمص وغازات عرضية يمكن الاستفادة منها لاغراض صناعة حامض الكبريتيك.

ويتم صهر الخام المركز والمحمص باستخدام الفرن العاكس(Reverberatory) او فرن الصهر المسمى بالفرن الومضي (Flash furnace)، والموضح في الشكل (1-5 أ و ب)، حيث تتجزا الشحنة المنصرة الى طبقتين سائلتين هما طبقة الكبريتيدات وطبقة الاكاسيد المنصهرتين. ونظرا لعدم ذوبان احداهما في الاخرى لاختلافهما في الوزن النوعي لذا تطفو الاكاسيد المنصهرة لقلة وزنها النوعي. وبنفخ الهواء مع اضافة كمية محسوبة من السليكا، وذلك لازالة شوائب الحديد من الخام، حيث يحصل التفاعل الاتي:



$2CuFeS_2 + O_2$ (غاز) $= Cu_2S + FeS2 + SO_2$ (غاز)



$FeS + 3O_22$ (غاز) $= 2\,FeO + 2\,SO_2$ (غاز)

الشكل (5-1)

مخططات مبسطة للفرن العاكس والومضي والمحول الافقي.



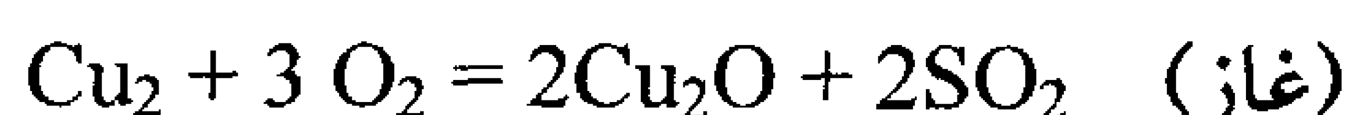
$$2Fe + 2SiO_2 = 2FeO.SiO_2$$ (خبث)

وبما ان الكبريتيدات ذات وزن نوعي اكبر من الوزن النوعي للاكاسيد، لـذلك تستقر في اسفل قلب الفرن على هيئة مخلوط كبريتيدي (Matte) يحتوي علـى (% 25 -50)

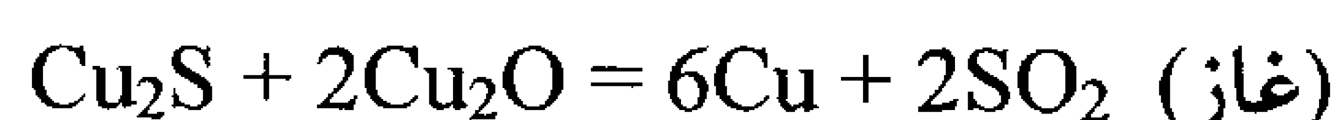
من النحاس ويتكون بشكل عام من ($FeS+ Cu_2S$) وعناصر ثمينة كالذهب والفضة وبنسب قليلة. يحول المخلوط الكبريتيدي الى المحولات الافقية (Horizontal converters) والتي يتم فيها ازالة الحديد والكبريت وذلك باكسدتهماعن طريق النفخ المستمر للهواء من خلال انابيب خاصة كما في الشكل (1-5ج) وكالاتي:

(1) مرحلة تكوين الخبث وازالة كبريتيد الحديدوز(FeS) وكما في التفاعل السابق والذي يتم فيه تحويل جميع كبريتيد الحديدوز الى اوكسيد الحديدوز(FeO) ثم يزال كخبث متكون من سليكات الحديد بعد اضافة السليكا(SiO_2) اليه. وتتم ازالة الخبث بامالة المحول ثم اعادته الى وضعه واضافة كميات اخرى من المخلوط الكبريتيدي اليه. وتتكرر العملية حتى يصبح المحول مليء بكبريتيد النحاس(Cu_2S).

(2) مرحلة تكوين النحاس المنقط (Blister Copper) او نحاس الغفل، فبعد ازالة جميع كبريتيد الحديدوز(FeS) بالاكسدة يبدا انتاج النحاس عن طريق اكسدة(Cu_2S) وحسب التفاعل الاتي:



$Cu_2 + 3\ O_2 = 2Cu_2O + 2SO_2$ (غاز)



$Cu_2S + 2Cu_2O = 6Cu + 2SO_2$ (غاز)

حيث يكون النحاس الناتج من العملية المذكورة ذا نقاوة 98% ويسمى النحاس المنقط والذي يحتوي على شوائب بنسبة 0.5%-2. وتشمل الشوائب التي يمكن التخلص منها بالاكسدة الكبريت والكادميوم والخارصين والمغنيسيوم والحديد والالمنيوم والقصدير والانتيمون والزرنيخ.......الخ. اما بقية الشوائب والتي يمكن التخلص منها بعملية التحليل الكهربائي (الالكتروليتي) فتشمل النيكل والسيلنيوم والتليريوم والبزموث والكوبلت والفضة والذهب. والجدول (1-6) يبين نسب الشوائب في النحاس المنقط قبل وبعد التنقية الحرارية.

الجدول (1-6)

النسب المئوية للشوائب في النحاس المنقط قبل وبعد التنقية الحرارية.

الرمز الكيمياوي	النحاس المنقط النسبة وزنا بالمئة قبل التنقيةالحرارية	Blister Copper النسبة بعد التنقية الحرارية
Cu +Ag	99.49	99.92
Fe	0.0066	0.0037
S	0.0190	0.0016
Ni	0.0208	0.0207
As	0.0072	0.0031
Sb	0.0025	0.0020
اقل من Bi	0.0001	0.0001
Se + Te	0.0095	0.0093
معادن غيرذائبة	0.0233	لا يوجد
O_2	0.4210	0.0390

1-5-1 التنقية الحرارية للنحاس:

تتم عملية تنقية النحاس المنقط اولا بالافران الحرارية والتي تشمل :

1. اكسدة الشوائب انفة الذكرعن طريق نفخ الهواء خلال انابيب حديدية ممدودة داخل النحاس المنصهر وازالة الخبث. وتستمر هذه العملية الى ان يتم الوصول الى نسبة اوكسجين بين 0.6 الى% 0.9 كمرحلة اولى، حيث يتم التاكد من ازالة الكبريت.

2. تقليل محتوى الاوكسجين في النحاس وذلك بتغطية المنصهر بالفحم (Coal)، وتحريك المنصهر باستخدام جذع شجرة اخضر، لان الخشب الاخضر يساعد على تقليل نسبة اكاسيد النحاس بحيث يمكن الوصول الى حد (% 0.03–0.06) من الاوكسجين في النحاس النقي المتين(Tough Pitch Copper).

2-5-1 التنقية الكهربائية:

يعالج ناتج التنقية الحرارية بواسطة التحلل الكهربائي وتتم التنقية الكهربائية في حوض (خلية) مصمم لهذه الغاية.

يصب النحاس المنتج من الطريقة الحرارية على شكل اقطاب المصعد (Anodes). اما اقطاب المهبط (Cathodes) فتصنع من رقائق النحاس النقي المطلي بطبقة رقيقة من الشحم لتسهيل قشط النحاس منه عند ترسبه عليه خلال العملية. يتكون المنحل الكهربائي من كبريتات النحاس($CuSO_4$) بتركيز $50\ kg/m^3$ وحامض الكبريتيك (H_2SO_4) بتركيز $200\ kg/m^3$. تضاف الى المحلول بعض المواد (العوامل) المساعدة كالصمغ او الكحول ويتم التحلل الكهربائي عند درجة حرارة تتراوح بين $50\ ^oC$ الى 60^oC، وكثافة تيار مقداره $250\ Amp/m^2$. وعند مرور التيار الكهربائي تبدا عملية التحلل وذلك بترسب النحاس النقي على المهبط والذي يكون بنقاوة افضل من% 99.9 كنحاس كاثودي (Electrolytic Tough Pitch Copper). اما العناصر الاخرى ضمن النحاس المنقط مثل الحديد والكوبلت والنيكل والتايتينيوم والذهب والفضة وغيرها، فانها تترسب على المصعد (Anode) كناتج عرضي وتسمى طفو المصعد الشكل (1–6). بينما يزداد تركيز البزموث والقصدير والزرنيخ في المحلول الالكتروليتي والذي يجب تبديله باستمرار لمنع تسرب البزموث والقصدير وغيرهما الى النحاس عند ارتفاع تركيزها في المحلول. وتفضل هذه الطريقة وذلك:

1- من اجل الحصول على الذهب والفضة واللذين يعوضان تكاليف الطاقة الكهربائية اللازمة للعملية بسبب ارتفاع سعريهما.ويبين الجدول(1-7) محتوى طفو المصعد بعد التنقية الكهربائية.

الجدول (1-7)

محتوى طفو المصعد (Anode) من العناصر بعد عملية التنقية الكهربائية.

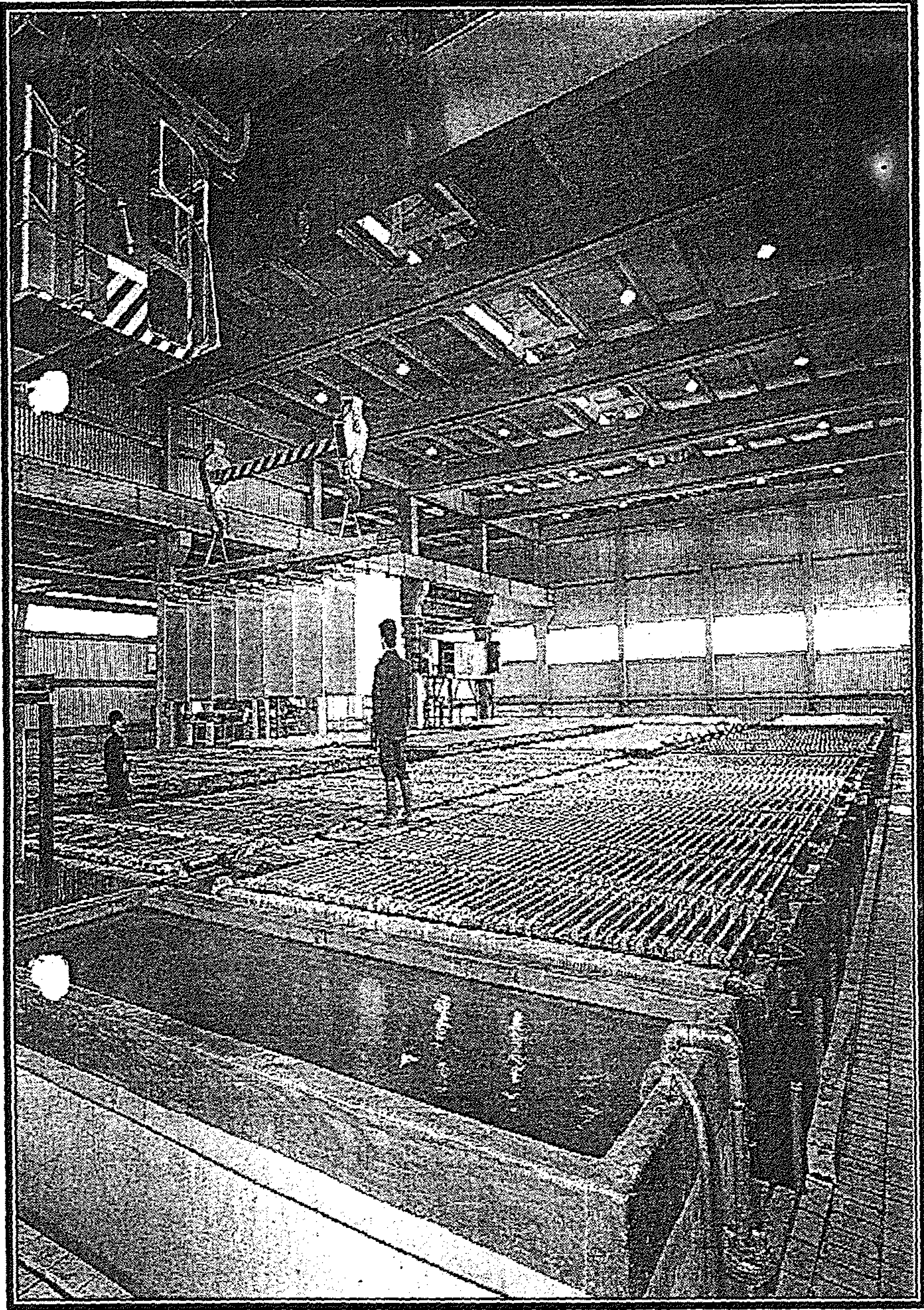
النسبة المئوية فيه(% wt)	العنصر
40-10	Cu
1.4 - 8.5 كيلوغرام لكل طن	Ag
0.25 -1.7 كيلوغلرام لكل طن	Au
20-2	Pb
5-0.5	As
4-0.0	Te
25-5	Ni
10-2	S
2-0.5	Fe
2.5-0.0	Se

2- لازالة البزموث والذي يؤثر سلبا على الخواص الميكانيكية للنحاس.

3- من اجل تنقية النحاس الى مرتبة اعلى لكي يلائم واستخداماته للاغراض الكهربائية.

الشكل (1-6)

طريقة تنقية النحاس بالتحليل الكهربائي



ويمكن تلخيص عمليات الاستخلاص والتنقية بالاتي:

كبريتيد مركز Cu_2S



تحميص جزئي (Partial roasting)



فلزات (معادن) ثمينة + $Cu_2S + FeS$



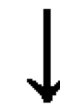
الصهر في الفرن الومضي



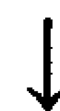
تكوّن المخلوط الكبريتيدي (Matte Cu_2S of+ FeS) مع فلزات ثمينة



التحويل الى المحول الافقي (Horizontal Converter)



نحاس منقط 98 % (Blister Copper)



التنقية الحرارية (Fire Refining)

ثانيا" الطريقة الميتالورجية المائية(الهدروميتالورجية)(النض Leaching):

وتسمى هذه الطريقة بالنض اوالغسل بالحامض من الخامات الفقيرة واكاسيدها ومخلوطاتها التي يصعب تركيزها وغالبا ما تحتوي هذه الخامات على النحاس الفطري (الاولي). واهم مساوىء طريقة النض هي فقدان المعادن الثمينة. والمواد الكاشفة (Reagents) المستخدمة في عملية النض تتكون عادة من حامض الكبريتيك واملاح الالمنيوم. ويبن المخطط الاتي تتابع استخراج النحاس بهذه الطريقة باستخدام حامض الكبريتيك الشكل(1-7).

مسحوق الخام

H_2So_4

النض والغسل

حديد Fe

عملية أزالة الحديد

معالجه جزئيه

فضلات (منبوذات)

محول Converter

السمنته

التحلل الكهربائي

ترسيب النحاس

النفايات

نحاس سمنتي

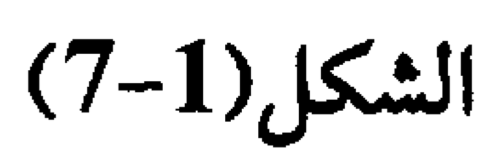
النحاس Copper

إعادة الصهر

الالكتروليت المستهلك

نحاس تجاري

نحاس غفل



الشكل(1-7)

مخطط لعمليات استخلاص النحاس بطريقة النض وباستخدام حامض الكبريتيك.

6-1 انواع النحاس حسب طريقة التنقية :-

1. نحاس كاثودي الكتروليتي (Electrolytic Cathode Copper)

وهو نحاس منقى بطريقة التحليل الكهربائي. وينتج باستخدام صفيحة نحاسية توضع ككاثود في حوض يحتوي على محلول كبريتات النحاس. فعند مرور التيار الكهربائي بالمحلول يتم ترسب النحاس النقي على المهبط (الكاثود) كما مر ذكره، حيث يقشط ويستخدم كنحاس كاثودي (مهبطي). وتصل نقاوة هذا النوع من النحاس الى 99.9%. لذلك فهو يمثل مادة خام صالحة لانتاج معظم انواع النحاس وسبائكه. حيث يمكن اعادة صهره وسباكته ويستخدم في تطبيقات متعددة وقد يستخدم كما هو. ويمتاز بان قابليته على التوصيل الكهربائي قليلة نسبيا لاحتوائه على بعض الشوائب القليلة.

2. النحاس النقي المتين (Tough Pitch Copper)

وهو نحاس غير كامل الاختزال حيث تتراوح نسبة الاوكسجين فيه بين-0.03) 0.06 %). وكلما انخفضت نسبة تواجد الاوكسجين فيه ازدادت قابليته على التشكيل والتشغيل. وتبلغ نقاوة هذا النوع من النحاس 9599.% و توصيليته الكهربائية هي نفس توصيليه النحاس القياسي العالمي الملدن(IACS) (International Annealed Copper Standard) وهي 100%. لذلك يستخدم في اسلاك نقل الطاقة بجميع انواعها ومن انواعه:

أ- النحاس اليكتروليتي النقاوة المتين(Electrolytic Tough Pitch Copper)

وهو نحاس كاثودي يعاد صهره ويترك ليكتسب بعض الاوكسجين خلال العملية. ويستخدم هذا المنتج لجميع الاجهزة الكهربائية والتي يتوجب فيها جودة للتوصيل، وفي هذه الحالة تتم السيطرة على نسبة الاوكسجين لتصل الى04%. 0 كمنتج ملدن له توصيلية تبلغ 100 IACS.

أ- نحاس متين منقى بالتسخين(Fire Refined Tough Pitch Copper) وينقى هذا النوع من النحاس بالفرن وبما ان العملية صعبة ومكلفة وقد لاتغطي التكاليف المصروفة فيها، فان هذا النوع من الخام وموقع استثماره يؤثران في اختيارهذه

الطريقة وعليه نلاحظ ان المنتج النهائي منه يمتاز بتوصيلية تبلغ 100 IACS في حالته الملدنة.

ج- النحاس النقي المتين الاعتيادي (Ordinary Tough Pitch Copper) ويلاحظ الاهتمام فيه لان نسب الشوائب والاوكسجين اقل مما هي عليه في عمليات التنقية الاخرى فهو لايستخدم في التطبيقات الكهربائية ولكنه يستخدم في تطبيقات هندسية اخرى فيصب في قوالب ليستخدم في تصنيع السبائك النحاسية المختلفة.

د- نحاس زرنيخي متين(Tough Pitch Arsenical Copper) ويحتوي هذا النوع على حوالي0.04% زرنيخ وباضافة الزرنيخ تنخفض قابليته على التوصيل الحراري ولكن تتحسن مقاومة الشد للمعدن اضافة الى تحسن مقاومة التاكل. ويمكن المحافظة على هذه التحسينات حتى درجة 300°C.

3. **النحاس الخالي من الاوكسجين** (Oxygen Free Copper)

يستخدم النحاس الخالي من الاوكسجين عندما يتطلب الاستخدام تحقيق توصيلية كهربائية مقدارها ($58 \times 10^{4}\ cm^{-1}.\Omega^{-1}$) في الحالة الملدنة (Soft) وهناك انواع من هذا النحاس وحسب طريقة التنقية:

7-1 الشوائب في النحاس وتاثيراتها:

تختلف نسب هذه الشوائب من نوع الى اخر حسب طريقة الأستخلاص والتنقية ونوع الخام وموقع المنجم. وفيما يلي العناصر التي تظهر اثناء التحليل للانواع المختلفة من النحاس و بنسب لا تزيد على 0.1% من مكونات السبيكة.

ا- **الفضة**

لا تؤثر الفضة على توصيلية النحاس الكهربائية ولكن تزداد درجة حرارة التلدين كلما ازدادت نسبتها فيه. فتصل درجة حرارة ازالة الاجهادات الى 300 °C عندما تصل نسبة الفضة الى% 0.1 بينما يكفي لتحقيق نفس الهدف درجة حرارة 200°C وبنفس

الزمن عندما تكون نسبة الفضة اقل من ذلك. وتحسن الفضة قابلية النحاس على اللحام بالكاوية (Soldering).

ب- الكادميوم

له نفس تاثير الفضة اضافة الى انه يصلّد المعدن ويحسن مقاومة الشد و الكسر(Fracture stress). ان وجود% 0.8 من الكادميوم يخفض التوصيلية الكهربائية للمعدن لتصل الى% 95 من قيمته الاساسية في الحالة الملدنة. اما استخدامات النحاس الحاوي على الكادميوم، فيستخدم في التوصيلات الكهربائية بين المدن.

ج- التليريوم والسلينيوم

لهما نفس تاثير الفضة على درجة حرارة التلدين للنحاس ويضافان لتحسين قابلية المعدن على التشغيل اي لتحقيق سطح جيد مع دقة في القياسات حيث يعتبر ذلك من مميزات النحاس الحاوي عليهما. اما قابليته على التوصيل الكهربائي فتبلغ IACS 90%.

د- الكبريت

له نفس تاثير التليريوم تقريبا وهو الان مرغوب به من قبل معظم مستخدمي النحاس.

8-1 خواص النحاس Properties of Copper

سيتم التطرق هنا لاهم الخواص التي يتميز بها النحاس والتي سيرد تفصيلها لاحقا.

أ- مقاومة التاكل Corrosion Resistance:

يعتبر النحاس من العناصر النبيلة نسبيا ولكنه ليس كالذهب وبقية المعادن الثمينة من حيث تاثره بالوسط المحيط به. يتميز النحاس بمقاومته للتاكل بصورة عامة ونظرا لتعدد انواع التاكل واسبابها فانه سيتم التطرق الى ذلك في فصل خاص بالتاكل وكيفية الحماية منه باستخدام العناصر السبيكة الملائمة.

ب- التوصيل الكهربائي والحراري (Thermal and Electrical Conduction)

يعتبر النحاس وكثير من سبائكه موصلات جيدة لنقل الطاقة الكهربائية والحرارية. فيخصص النحاس النقي بصورة رئيسة لهذه الاستخدامات. ولقد وجد ان زيادة عناصر

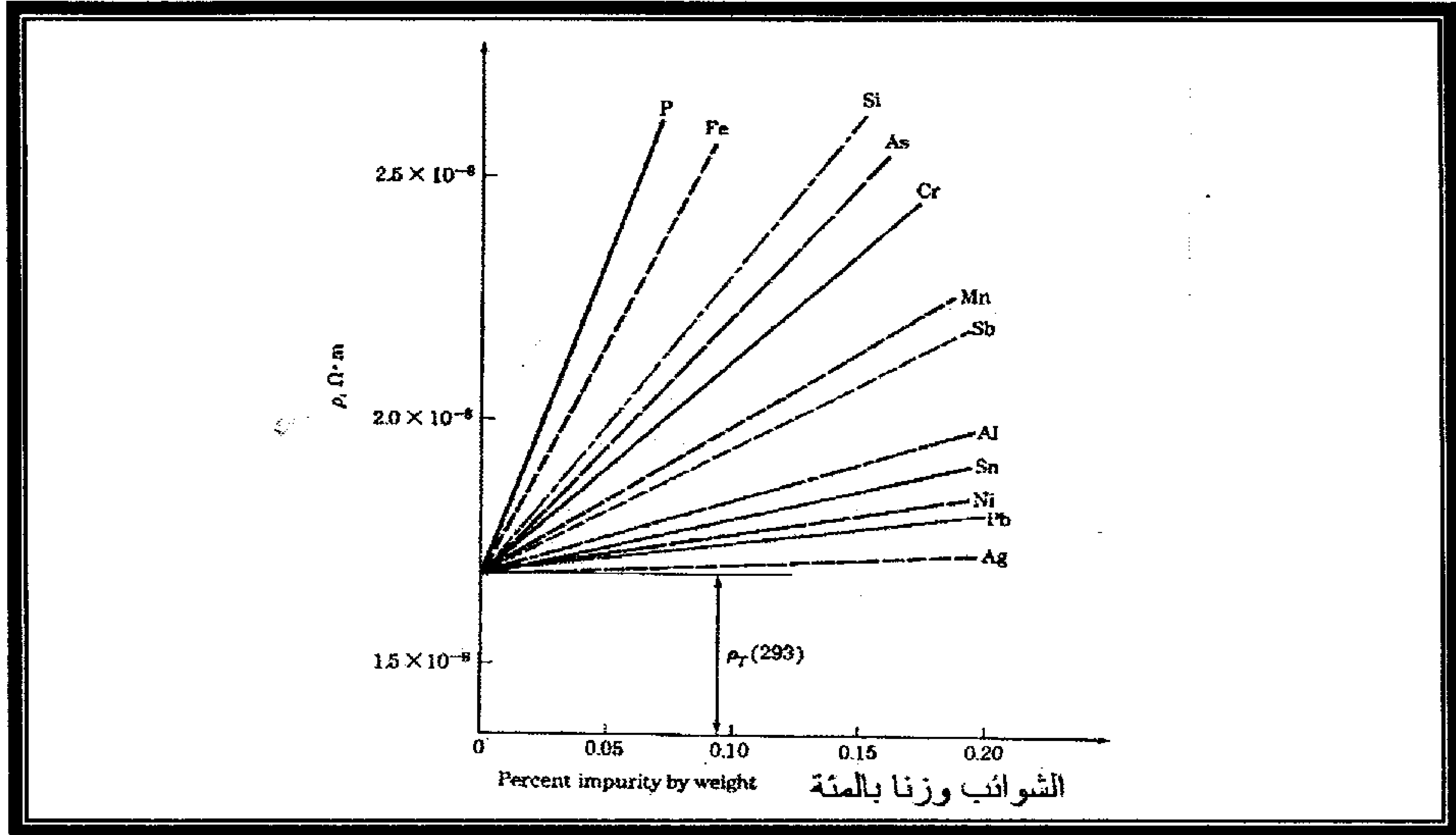
السبك في النحاس تؤدي الى انخفاض توصيلية المعدن للكهربائية. وبما ان هذه العناصر تختلف من نوع الى اخر من حيث قابليتها على الذوبان في النحاس او حجمها الذري او تكافؤها ...الخ فان درجة تاثيرها على الخواص الكهربائية تختلف ايضا. حيث ان تكون مركبات معدنية من جراء التفاعلات الكيمياوية او التذاوب في الحالة الصلبة قد يؤدي الى تغيير في التوصيلية الكهربائية. كما ان قيمة التوصيلية الكهربائية تتاثر بنوع المعاملات الحرارية وعمليات التشكيل التي يتعرض المعدن لها. والجدول(1-8) يبين تاثير بعض العناصر السبيكة ومقدار ما يحتويه النحاس من الاوكسجين على التوصيلية الكهربائية له. كما يوضح الشكل(1-8) تاثير بعض العناصر السبيكة في مقاومية النحاس، والمقاومية هي معكوس التوصيلية.

الجدول (1-8)

يبين تاثير بعض العناصر السبيكة ومحتوى الاوكسجين على توصيلية النحاس بمقياس IACS.

محتوى النحاس من الاوكسجين ppm(O_2)	مقدار العنصر في النحاس ppm	الانخفاض في التوصيلية (%) حسب نظام IACS
350	5 رصاص(Pb)	0.1
450	5 رصاص(Pb)	0.12
400-350	5 انتيمون (Sb)	0.15
400-350	10 زرنيخ(As)	0.20
400-350	10 نيكل (Ni)	0.10

ومن الجدير بالذكر فان التوصيلية الكهربائية (Electrical Conductivity) للمعادن تختلف من واحد الى اخر.والجدول (1-9) يبين نوع المعدن او السبيكة ومقدار التوصيلية بنظام (IACS) حيث يحتل النحاس القياسي العالمي الملدن(IACS) (International Annealed Copper Standard) القيمة% 100. اما توصيليةالنحاس الخالي من الاوكسجين(OFHC) فقد تصل الى أكثرمنIASC 100%.



الشكل (1-8)

يبن تاثير عناصر السبك على مقاومية النحاس.

ج- **سهولة التشكيل**(Ease of Fabrication):

يظهر النحاس وسبائكه بصورة عامة قابلية تشكيل عالية ومن ثم امكانية الحصول على القياسات والابعاد المطلوبة وبمختلف الطرائق الصناعية المعروفة كالدحو(الدرفلة)(Rolling) والطرق(Forging) والبثق (Extrusion) والسحب (Drawing) والسحب العميق (Deep Drawing) والتخريم (Punching). اضافة الى انه يمكن ان ينعم (Grinding) ويصقل(Polishing) ويصفح (Plating) ويطلى (Coating) ولذا يمكن اجراء مدى واسع من العمليات الصناعية ولمختلف الاستخدامات. وتقسم عمليات التشكيل الى:

1- التشكيل على البارد(Cold Working). وتشمل عمليات السحب والدحو (الدرفلة) والسحب العميق...الخ. والتي ترتفع جرائها مقاومة الشد(Tensile Strength للمعدن ومقاومة الخضوع (Yield Strength) والصلادة (Hardness) وحسب مقدار التشكيل ونوعه.

الجدول (1-9)

يبين قيم المقاومية والتوصيلية لبعض المعادن والسبائك الشائعة الاستخدام مقارنة مع توصيلية النحاس القياسي العالمي الملدن(IACS) والتي تساوي 100%.

المعدن اوالسبيكة	المقاومية 10^{-6}(cm. Ω)	التوصيلية (IACS%)
الفضة	1.63	105
النحاس الملدن	1.72	100
الذهب	2.44	70
الالمنيوم	2.82	61
سبيكة الالمنيوم 6061-T6	4.1	42
سبيكة الالمنيوم 7075-T6	5.3	32
سبيكة الالمنيوم 2024-T4	5.2	30
المغنيسيوم	4.6	37
النحاس الاصفر(30-70)	6.2	28
برونزيات الفسفور	16	11
سبيكة المونيل(Monel)	48.2	3.6
الزركونيوم	50	3.4
زرك ألوي-2(Zircaloy-2)	72	2.4

التايتينيوم	54.8	3.1
سبيكة Ti-6Al-4V	172	1.00
الفولاذ المقاوم للصدا 304	70	2.5
إنكونيل-600 (Inconel-600)	98	1.7
هاستيلوي X(Hastelloy X)	115	1.5
واسبالوي (Waspaloy)	123	1.4

2- التشكيل على الحار(Hot Working). تجرى عمليات التشكيل على الحار للمعادن عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور(.Recrystallization temp) وذلك للاحتفاظ بمطيليتها (Ductility) وعدم فشلها اثناء التشكيل. ويمكن تحقيق نسبة تشكيل على الحار للمعدن اكبر مما هي عليه في عمليات التشكيل على البارد، حيث ان عملية واحدة يمكن ان تحل محل عدد من عمليات التشكيل على البارد والتلدين من اجل تحقيق قياس محدد. كما يصل مقدار الحجم الحبيبي(Grain size) قبل التشكيل على الحار(للمصبوبة) حوالي(1-10 mm) والذي يمكن تقليله الى حوالي (0.07-0.2mm) بواسطة عمليات التشكيل على الحار. حيث ينتج من هذه العمليات معدن طري (Soft) ليتقبل بعد ذلك عمليات التشكيل على البارد اللاحقة. تقل مقاومة ومتانة (Toughness) المعدن كلما كبر الحجم الحبيبي (البلوري).

د- الخواص الكيمياوية والفيزياوية للنحاس:

النحاس معدن لماع احمراللون ضارب الى البني. بنيته البلورية هي المكعب متمركز الوجه(Face Centered Cubic)(fcc)، وسيتم التطرق الى البنية البلورية بشكل اوسع نسبيا لاحقا، وكثافته ($8 .9\ g/cm^3$). اما درجتي انصهاره وغليانه فيبلغان $1083\ ^oC$ و $2360\ ^oC$ على التعاقب. وهواما ثنائي او احادي التكافؤ في مركباته. فعلى سبيل المثال، يكون ثنائيا في كبريتات النحاس($CuSO_4$) و أحاديا في كبريتيد النحاس(Cu_2S).

الجهد الكهربائي الكيميائي لايونات النحاس موجب،



$Cu = Cu^{2+} + 2e \qquad E^{\circ} = 0.337$ Volt



$Cu = Cu^{1+} + e \qquad E^{\circ} = 0.521$ Volt

ولهذا السبب لايحل النحاس محل الهيدروجين في الحوامض بل يذوب فيها فقط عند وجود عامل مؤكسد، ولا يتفاعل النحاس مع المحاليل القاعدية، ومن املاحه الزاج الازرق او كبريتات النحاس المائية($CuSO_4\ 5H_2O$) والتي تستخدم في الكيمياء ودباغة الجلود وصناعة الفرو والحرير الاصطناعي الى جانب مواد الصباغة.

هـ- اكسدة واختزال النحاس Oxidizing and Deoxidizing of Copper

يقترن تاكسد النحاس في الهواء بتكون طبقة خضراء من كربونات النحاس المائية وكبريتات النحاس،هذا عند درجة حرارة الغرفة. اما عند درجات الحرارة العالية فيكتسب النحاس طبقة سوداء هي عبارة عن اوكسيد النحاسيك، وعند تاكسده ببطء اي عند درجات حرارة ليست بالعالية (متوسطة) فتكسوه طبقة لامعة قرمزية من اوكسيد النحاسوزCu_2O. ان ضغط التفكك لاوكسيد النحاسيك CuO يساوي ضغط الاوكسجين في الهواء عند درجة حرارة $940\ ^{\circ}C$ تقريبا. ويتاكسد النحاس عند درجات الحرارة التي تزيد عن ذلك الى اول اوكسيده. والاخير قابل للذوبان في منصهر المعدن. ويقوم اوكسيد النحاسوزCu_2O بدور قاعدة ضعيفة في حالات الصهر الميتالورجي. حيث يكوّن سليكات ومركبات اخرى مع الاكاسيد الحامضية. ويتحد النحاس مع الكبريت مكونا كبريتيد النحاسيك وكبريتيد النحاسوز. ويتحلل الاول، على سبيل المثال، في درجات الحرارة العالية حسب التفاعل الاتي:



$2CuS = Cu_2S + 1/2\ S_2$

واكاسيد النحاس سهلة الاختزال عند وجود كمية من اول اوكسيد الكاربون قد لاتزيد نسبتها عن 1.0% في خليط من اول وثاني اوكسيد الكاربون.

الفصل الثاني

سبائك النحاس

الفصل الثاني

سبائك النحاس

2-1 المقدمة:

من المعلوم ان هناك عدة غايات لتسبيك المعدن اي أشابته بمعدن اخر.ويمكن تلخيص هذه الاسباب بالاتي:

1- لتحسين الخواص الميكانيكية كالمقاومة الميكانيكية والصلادة والمطيلية وحد الكلال (Fatigue limit) ومقاومة الزحف......الخ.

2- لتحسين الخواص السطحية، على سبيل المثال، مقاومة التاكسد والتاكل والبلي والاحتكاك.

3- لتحسين الخواص الاخرى كالتوصيلية الحرارية والكهربائية والمغناطيسية و الضوئية، اضافة الى الكثافة واللون ...الخ.

4- الاسباب الاقتصادية مثل الكلفة والتوفر.

نعني بالسبيكة هنا هي المادة المعدنية المتكونة من اكثر من معدن او عنصر. اما بنية السبيكة المجهرية فقد تتكون من طور واحد او عدة اطوار. والطور(phase) هو جزء او اجزاء من السبيكة لها نفس الخواص والبنية البلورية. فقد يكون الطور محلولا جامدا لعنصر او مركب في اخر او يكون مركبا كيميائيا بين عناصر السبيكة او قد يكون مادة نقية. يعتمد مقدار ذوبانية عنصر في اخر في الحالة الصلبة على ما يلي:

1- البنية البلورية لكل عنصر.

2- الحجم الذري لكل عنصر.

3- الخواص الكهروكيميائية لكل عنصر، اي على ميل كل عنصر للاتحاد مع الاخر وحسب موقعه في الجدول الدوري.

4- تكافؤ كل عنصر.

ولتوضيح انواع البنى البلورية والتي تستخدم في المقارنة بين الانواع المختلفة من السبائك، حيث يتم تحديدها وتحليلها باستخدام تقنية حيود الاشعة السينية (X-ray diffraction technique) وذلك من حيث نوع الخلية البلورية وعدد الذرات فيها وطول اضلاعها والزوايا بينها. يمكن تقسيم هذه البنى الى اربعة عشر نوعا لكل المواد البلورية سواء كانت معدنية او سيراميكية لكن ما يهمنا هنا (بالنسبة للنحاس وسبائكه) ثلاثة انواع فقط هي:

1- بنية المكعب المتمركز الجسم BCC (Body Centered Cubic)

تتوزع الذرات، التي يفترض ان تكون على شكل كرات، على زوايا (رؤوس) المكعب الثمانية وواحدة في مركز المكعب. حيث تشترك كل من تلك الذرات التي في الزوايا مع ثمانية مكعبات مجاورة مماثلة وعليه تكون كل ذرة عند الراس تشترك بثمن حجمها فقط في كل خلية. وعليه يكون العدد الفعلي للذرات في كل وحدة خلية (مكعب) من هذا النوع هو(2).

2- بنية المكعب المتمكز الوجه FCC (Face Centered Cubic)

تتوزع الذرات في هذا النوع على الزوايا بنفس الطريقة السابقة ولكن لا توجد ذرة في مركز الخلية وبدلا عن ذلك توجد ذرة واحدة في مركز كل وجه من اوجه المكعب ولهذا سمي بالمكعب متمركز الوجه. وكل ذرة في مركز الوجه تشترك بنصف حجمها في تلك الخلية. وعليه يكون عدد الذرات الفعلي في الخلية هو(4).

3- بنية السداسي المتراص او المكتظ HCP (Hexagonal Closed Packed)

تتوزع الذرات في هذا النوع على زوايا القاعدتين السداسيتين ومركزيهما اضافة الى ثلاث ذرات اخرى داخل الخلية السداسية موزعة في مستوى واحد يقع في وسط المسافة بين القاعدتين. اماعدد الذرات الفعلي لكل خلية فهو(6). والشكل (2-1) يبين توزيع الذرات في الاشكال الثلاثة انفة الذكر.

بنية السداسي المتراص	بنية المكعب المتمركز الوجه	بنية المكعب المتمركز الجسم

الشكل (2-1)

البنى البلورية الاساسية الثلاث للسبائك المعدنية

ومن الجدير بالذكر ان البنية البلورية للنحاس هي المكعب المتمركز الوجه (FCC). اما الخارصين فله بنية السداسي المتراص(HCP)، على سبيل المثال، في حين ان الكروم ياخذ بنية المكعب المتمركز الجسم (BCC).

2-2 تصنيف سبائك النحاس :

صنفت سبائك النحاس في الولايات المتحدة بموجب المواصفات التي اعتمدت من قبل جمعية تطويرالنحاس CDA (Copper Development Association). وقد اعتمد في هذا النظام الارقام من C10100 الى C79900 لتعيين السبائك القابلة للتشكيل (wrought alloys) والارقام منC 80000 الى C 99900 لتعيين السبائك المسبوكة.

يبين الجدول (2-1) تصنيف مجموعات السبائك الاساسية. اما الجدول (2-2) فيدرج التكوين الكيميائي والخواص الميكانيكية النموذجية والتطبيقات لبعض سبائك النحاس المختارة أضافة الى تأثير ظروف السبيكة نفسها.

الجدول (2-1)

تصنيف سبائك النحاس بموجب نظام جمعية تطوير النحاس(CDA).

الصنف	السبيكة
السبائك القابلة للتشكيل	
C1xxxx	النحاس وسبائك النحاس العالي*
C2xxxx	سبائك النحاس – خارصين (البراص)
C3xxxx	سبائك النحاس – خارصين – رصاص (البراص الرصاصي)
C4xxxx	سبائك النحاس – خارصين – قصدير(البراص- القصديري)
C5xxxx	سبائك النحاس – قصدير(برونزيات القصدير)
C6xxxx	سبائك النحاس- المنيوم (برونزيات الالمنيوم) وسبائك النحاس- سليكون (برونزيات السليكون) وانواع مختلفة من سبائك النحاس- خارصين
C7xxxx	سبائك النحاس - نيكل وسبائك النحاس- نيكل- خارصين(فضيات النيكل)
السبائك المسبوكة (المصبوبة)	
C8xxxx	نحاس مسبوك وسبائك النحاس العالي المسبوكة وسبائك براص مسبوكة متنوعة. وسبائك برونزيات المنغنيز وسبائك نحاس - خارصين- سليكون مسبوكة.
C9xxxx	سبائك النحاس – قصدير مسبوكة وسبائك النحاس – رصاص – قصدير المسبوكة وسبائك النحاس – قصدير- نيكل وسبائك النحاس - المنيوم- حديد وسبائك النحاس- نيكل- حديد وسبائك النحاس- نيكل- خارصين المسبوكة.

*يقصد بالنحاس هي السبيكة التي تحتوي على % 99.3 نحاس اوأعلى من ذلك اما سبائك النحاس العالي فهي السبائك التي تحتوي على اقل من% 99.3 نحاس لكن اعلى من% 96 ولا تدخل ضمن اي من مجموعات سبائك النحاس الاخرى.

جدول (2-2)

الخواص الميكانيكية النموذجية لسبائك النحاس وتطبيقاتها. أ- السبائك المشكلة والملدنة

رقم السبيكة	التكوين الكيميائي wt %	ظروف السبيكة	مقاومة الشد MPa	مقاومة الخضوع MPa	المطيلية %	التطبيقات النموذجية
C 10100	99.99 Cu	ملدنة	220	69	45	التوصيلات الكهربائية، ادلة الموجة، والموصلات المجوفة، اقطاب المصعد، اسلاك التوصيل، سدادات اجهزة التفريغ، اجزاء الترانزستور،وصل المعادن بالزجاج، الكابلات المحورية، مقومات التيار....الخ
		مشكلة على البارد	345	310	6	
C11000 (ETP)	99.9 Cu 0.04 O	ملدنة	220	69	45	مواد التسقيف، الحشيات، الميازيب، مشعات الحرارة في السيارات،قضبان التوصيل، المسامير، أسطوانات الطباعة،البراشيم و أجزاء الراديو.
		مشكلة على البارد	345	310	6	
C26000	70Cu-30Zn	ملدنة	325	105	62	لب المشعات الحرارية والخزانات، اغلفة الانوار الومضية،مثبتات المصابيح،ادوات التثبيت والربط، الاقفال،المفاصل،اجزاء المعدات الحربية،ملحقات ادوات الصرف الصحي،الدبابيس والبراشيم
		مشكلة على البارد	525	435	8	
C28000	60Cu- 40Zn	ملدنة	370	145	45	مستلزمات معمارية، الصامولات الكبيرة

		مشكلة على البارد	485	345	10	واللوالب، قضبان لحام المونة، صفائح المكثفات وانابيبها، المبادلات الحرارية، الطرق الحار
C17000	97.5Cu ،1.7Be 0.20Co	SHT*	410	190	60	المنفاخ، انابيب اجهزة الضغط، الفتحات القزحية، المشابك، ادوات التثبيت، فلكات القفل (Lock Washers) ، النوابض، اجزاء المفاتيح الكهربائية، دبابيس الورق، الصمامات، اجهزة اللحام
		SHT، CW، PH*	1240	1070	4	
C61400	95Cu ،7Al ،2Fe	ملدنة	550	275	40	صامولات، لوالب، الاجزاءالخيطية والدقيقة، اوعية الخزانات المقاومة للتاكل، الاجزاء الانشائية، اجزاء المكائن، انابيب التكثيف والانظمة الانبوبية، الواقيات البحرية تثبيتها وتغليفها.
		مشكلة على البارد	615	415	32	
C71500	70Cu ،30Ni	ملدنة	380	125	36	مبادلات شبكةالتلفون،المكثفات وصفائحها،النوابض الكهربائية، انابيب المبادلات الحرارية والمبخرات، حلقات الوصل، المقاومات.
		مشكلة على البارد	580	545	3	
ب-السبائك المسبوكة						
C80500	99.75Cu	كمسبوكة	172	60	40	الموصلات الكهربائية والحرارية، تطبيقات مقاومات التاكل والاكسدة
C82400	96.4Cu ،1.7 Be ، 0.25 Co	كمسبوكة	497	255	20	الات السلامة، قولب الاجزاء البلاستيكية، الكامات، بطانات معدنية، مرتكزات،صمامات اجزاء المضخات،
		معالجة حراريا	1035	966	1	

						المسننات
C83600	85Cu ،5Sn ،5Pb ، 5Zn	كمسبوكة	255	117	30	الصمامات،الشفاه(flanges) لاحكام تثبيت المواسير، معدات الصرف الصحي، مسبوكات المضخات، دفاعات مضخات الماء واغطيتها، المسننات الصغيرة.
C87200	89Cu ،4Si	كمسبوكة	379	172	30	المرتكزات، الاحزمة الناقلة،دفاعات، اجزاء الصمامات و المضخات، اجزاء التثبيت البحرية، مسبوكات مقاومة للتاكل.
C90300	93Cu ،8Sn ،4Zn	كمسبوكة	310	145	30	مرتكزات،بطانات معدنية،دفاعات المضخات،حلقات المكبس، اجزاء الصمامات، حلقات السد لسد تسريب بخار الضغط العالي، مسننات.
C95400	85Cu ،4Fe ، 11Al	كمسبوكة	586	242	18	المرتكزات، المسننات، اللوالب، بطانات معدنية لتجليس الصمامات وادلتها، مشابك التنظيف بالحامض.
		معالجة حراريا	725	373	8	
C96400	69Cu ،30Ni ، 0.9Fe	كمسبوكة	469	255	28	الصمامات،ابدان المضخات، الشفاه(التشفيرات)، المفاصل المستخدمة لمقاومة تاكل ماء البحر

SHT=* معالجة حرارية محلولية

CW= مشكلة على البارد

PH= مصلدة بالترسيب

وهناك تصنيف اخر لسبائك النحاس وذلك حسب المواصفة الالمانية (DIN 1787) فقد اعتمدت هذه المواصفة اسلوبا اخر في تصنيف انواع النحاس وسبائكه ونسب بعض العناصر المحددة لنوع السبيكة. وكما مبين في الجدول(2-3).

جدول(2-3)

انواع النحاس وتكوينها الكيميائي بموجب المواصفة DIN 1787 وما يكافيء ذلك في نظام (ISO)، على سبيل المثال.

نوع النحاس	الرمز	التكوين الكيميائي%wt	المكافيءوفق نظامISO
نحاس حاوي على الاوكسجين (oxygen containing copper)	E-Cu58 E-Cu57	$Cu \geq 99.9$ $O_2(0.005- 0.040)$ % = = = =	Cu-ETP Cu-FRHC Cu-ETP Cu-FRHC
نحاس خالي من الاوكسجين (غير مختزل)	OF-Cu	$Cu \geq 99.95$	Cu-OF
نحاس خالي من الاوكسجين (مختزل بالفسفور)	SE-C	$Cu \geq 99.9$ $P \approx 0.003$	لايوجد ما يقابله في ISO
نحاس خالي من الاوكسجين (مختزل بالفسفور)	SW-Cu	$Cu \geq 99.9$ $0.005 < P < 0.014$	Cu-DLP
	SF- Cu	$Cu \geq 99.9$ $0.015 < P < 0.04$	Cu-DHP

3-2 انواع سبائك النحاس:

ويمكن ان تقسم السبائك النحاسية الى اربعة انواع رئيسة هي:

1- البراص Brasses
2- البرونز Bronzes
3- نحاس- نيكل Cu-Ni
4- سبائك اخرى

1- البراص او النحاس الاصفر:

يسمى النحاس الاصفر ايضا بالشبه اوالصُفر. وتستعمل كلمة براص بصورة عامة للتعبير عن سبائك النحاس مع الخارصين. حيث تختلف السبيكة باختلاف نسبة الخارصين فيها اختلافا كاملا في الخواص الفيزيائية والكيميائية. وقد تحتوي سبائك البراص على عناصراخرى بنسب مئوية صغيرة كالرصاص والقصدير والمغنيسيوم والالمنيوم والسليكون والحديد وغيرها. ولكي تبقى السبيكة محتفظة باسم البراص فيجب ان لاتزيد نسب اي من العناصر فيها على نسبة الخارصين والتي تكون اقل من نسبة النحاس. ويمكن تلخيص ذلك بما يلي:

البراص = نحاس + خارصين + عناصر اخرى (ان وجدت)

ويشترط ان تكون نسبة النحاس > نسبة الخارصين > نسبة العناصر الاخرى.

وبناء على ذلك فان سبيكة البراص تكون اما ثنائية (نحاس + خارصين) او متعددة العناصر وتتكون من النحاس والخارصين وعنصر واحد او اكثر. يضاف الى ذلك وفي كلا الحالتين احتمال وجود شوائب لاتزيد نسبة كل منها على 0.1 % وذلك من خلال وجودها في المواد الخام او من خلال عمليات السباكة. وكمثال على السبائك الثنائية سبيكة البراص(30-70) اي 70 % نحاس و30 % خارصين اما السبائك المتعددة العناصركما في سبيكة براص 58 رصاص (سبيكة ثلاثية) فتتكون من58% نحاس و2.5% رصاص والمتبقي خارصين.

وهناك تقسيم اخـر للـبراص علـى اسـاس عـدد الاطوارالموجـودة في الـسبيكة. فالسبيكة (30-70) هي براص احادي الطور وهي احدى سبائك النحاس المشهورة وهي متكونة من الطور الفا فقط (α - phase) كما في الشكل(2-2). ومن السبائك المتعـددة الاطوار سبيكة البراص (40 - 60) اي 60% نحاس و40% خارصين، وهي تحتوي على طورين الفا وبيتا (α -phase + β -phase) في بنيتها الدقيقة.

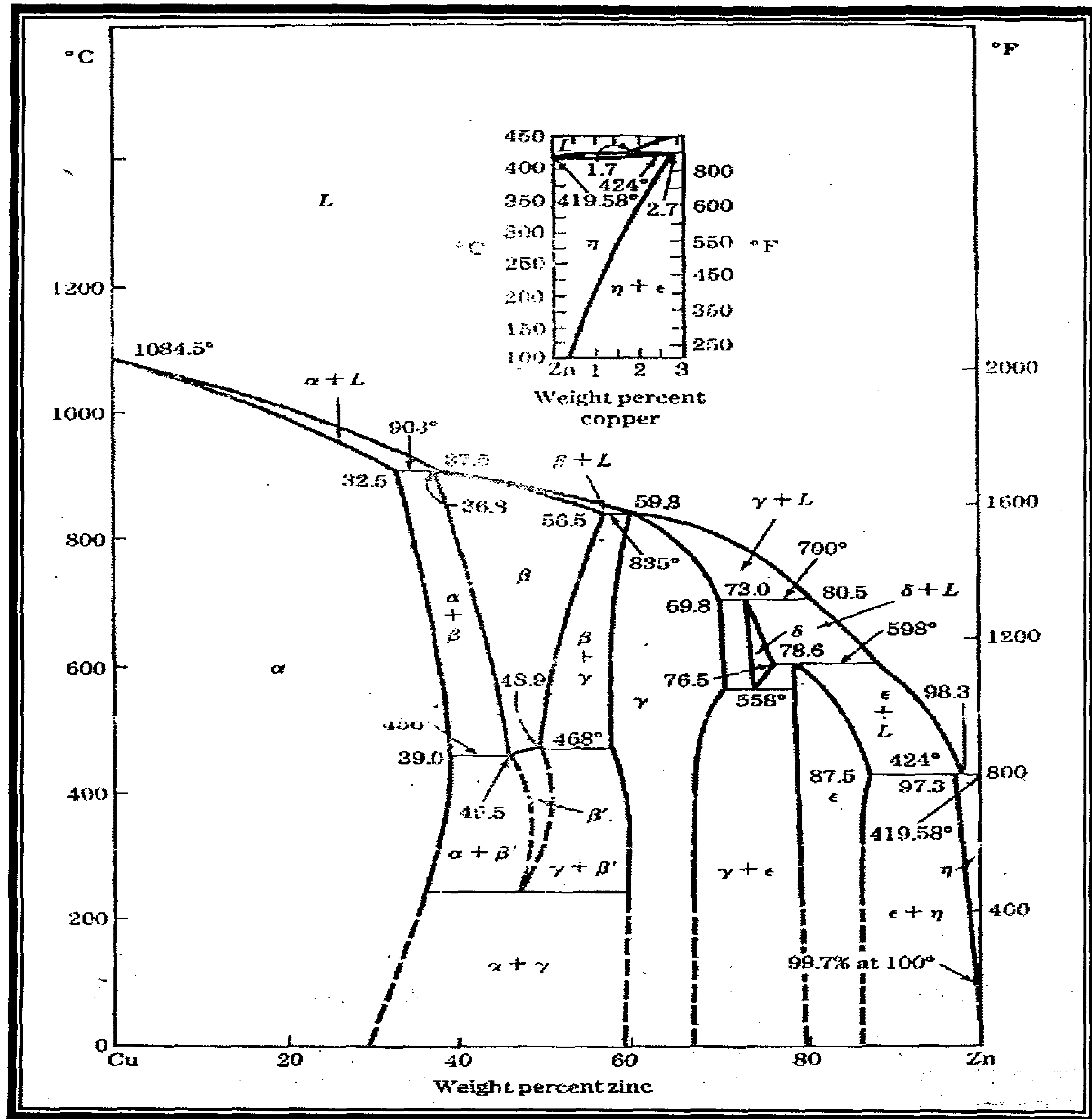
يـبين الـشكل(2-2) مخطـط التـوازن الطـوري لنظـام النحـاس – خارصـين (Equilibrium phase Diagram of Cu-Zn System) حيـث تظهـر جميـع الاطـوار المحتملة وعند مختلف الظروف.

والشكل(2-3) يبين الجزء الاكثر اهمية في نظـام النحـاس- خارصـين مـع البنـى البلورية والدقيقة للاطوار المتكونة عند مختلف الظروف.

اضافة الى تسميات السبائك. وكذلك يشير الشكل الاخـير الى مـديات التـشكيل على الحاروالبارد والتي سيرد ذكرها مفصلا فيمـا بعـد. ان الاطـوار الـتي تظهـر في هـذه السبائك المبينة في المخطط الطوري هي:

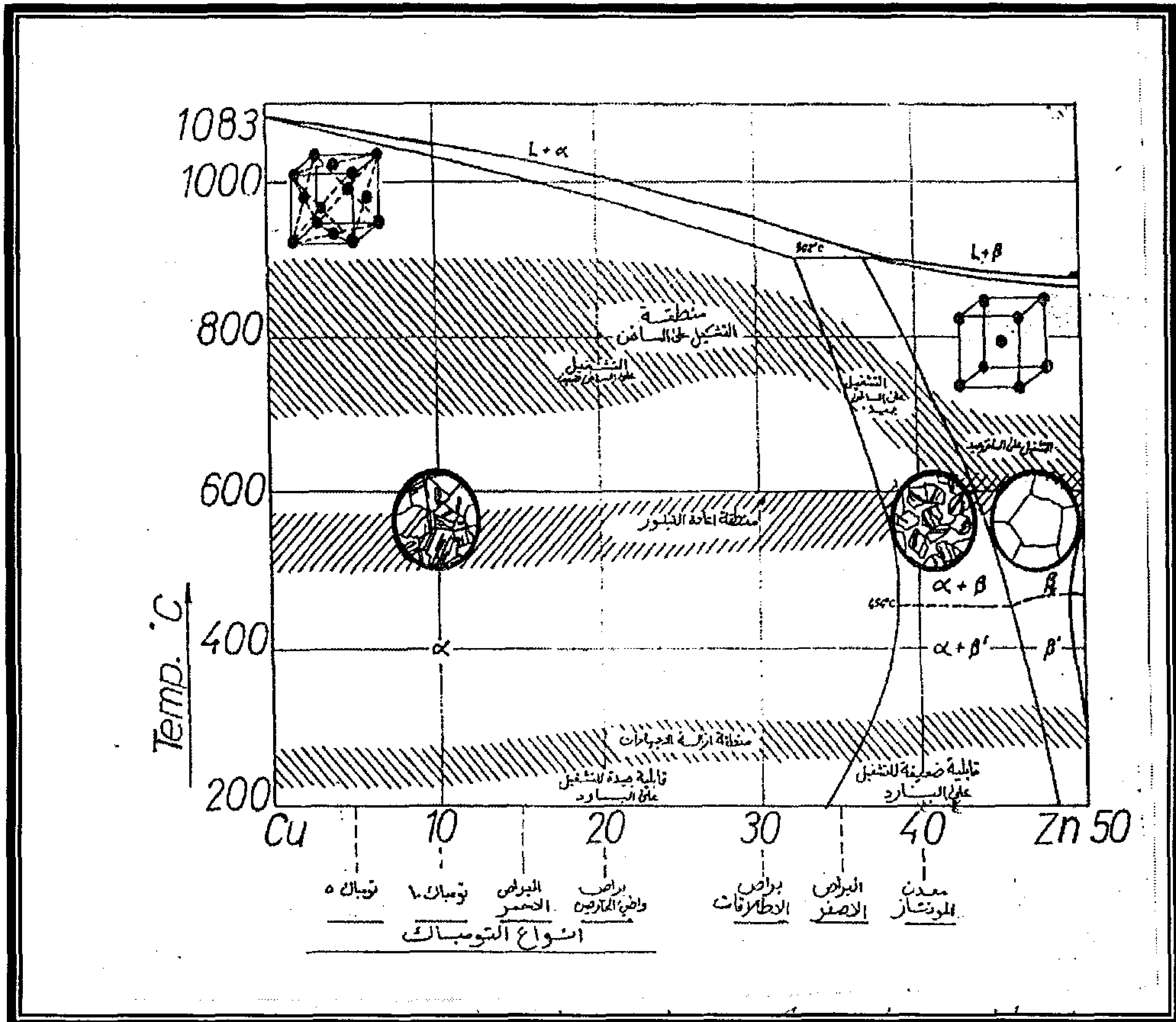
1. الطور الفا α - phase

وهو عبارة عن محلول جامد (Solid Solution) من الخارصين في النحاس وبنيتـه البلورية هي المكعب المتمركز الوجه (FCC). والمحلول الجامد هذا هـو محلـول اسـتبدالي اي تستبدل واحدة او اكثر من ذرات النحاس، في خلية المكعب المتمركزالوجـه، بـذرة او اكثرمن ذرات الخارصين. ولو امعنا النظر في مخطط التوازن الطوري، يتضح أن الخارصين يذوب بنسبة تصل الى 33% عند درجة حرارة الغرفة والتي تزيـد بارتفـاع درجـة حـرارة السبيكة لتصل الى حوالي 38% عند 450 °C، لكنها تقل مـرة اخـرى بارتفـاع درجـة الحـرارة حتى تصل قابلية ذوبان الخارصين في النحاس الى32.5% تقريبا عند درجة حرارة 900°C.



الشكل (2-2)

مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس – خارصين.



الشكل(2-3)

مقطع مكبر من مخطط التوازن الطوري للنحاس – خارصين (وزنا بالمئة)، وعلية تأشيرات مفيدة.

2. طور بيتا β-phase

وهو عبارة عن محلول جامد من الخارصين في النحاس ايضا وبنيته البلورية هي المكعب المتمركز الجسم(BCC)، وتصل نسبة ذوبان الخارصين في النحاس لهذا الطور

عند مديات درجات الحرارة العالية بين (% 57- 37) من الخارصين وتكون عند درجات الحرارة المنخفضة في المدى(% 49- 45) من الخارصين.

3. الطور بيتا برايم β' – phase

ويمثل نفس الطور بيتا ولكنه ذو بنية اكثر انتظاما واستقرارا.

4. الطور كاما γ - phase

وهو طور ذو بنية معقدة وعليه يكون ذو تناظر بلوري منخفض.

وهناك اطوار اخرى ذات نسب خارصين عالية جدا مثل ابسلون(ε) وايتا (η).

2- 3- 1 **بنية البراص الثنائي** Structure of Binary Brass

تكون بنية هذا النوع اما احادية الطور كالطور الفا او الطور بيتا، او ثنائية الطور (الفا + بيتا). وعند احتوائه على نسبة عالية من الخارصين يكون ثنائي الطور وقد يحتوي على الطور كاما في ارضية من الطور الفا. يمكن ان تزداد مقاومة وصلادة هذا النوع من السبائك بعمليات التشكيل على البارد. اما سبائك الطور بيتا او الطورين(الفا + بيتا) فهي غير قابلة للتشكيل على البارد وهي ايضا غير قابلة للتصليد بالمعالجات الحرارية المعروفة. ويجب المحافظة على حدود درجات حرارة التلدين وذلك لتجنب النمو البلوري(Grain growth).

تعتمد البنية المجهرية للسبيكة على التكوين الكيميائي ودرجة حرارة التلدين ومعدل التبريد، وبتغييرهذه الظروف يمكن الحصول على تراكيب او بنى مجهرية مختلفة وكما ياتي:

- التركيب (البنية) المجهري الاول:

التركيب المجهري للطور الفا ذو بلورات متعددة السطوح (Polyhedarl α- Structure) والذي يتكون بعد التبريد من ^{o}C 700 ولجميع سرع التبريد في البراص عالي النحاس. ويمكن ايضا الحصول على هذه البنية بالتبريد بسرع قليلة (بالهواء) ومن درجات الحرارة العالية . ^{o}C 780-850 يبين الشكل (2-4) هذه البنية.

- التركيب (البنية) المجهري الثاني:-

التركيب المجهري للطورين الفا + بيتا برايم ذو بلورات متعددة السطوح ايضا. يمكن الحصول على هذه البنية بمجال واسع من درجات الحرارة وسرع (معدلات) تبريد. وتعتمد كمية طور بيتا برايم($\beta^{/}$) على قيمتي درجة الحرارة ومعدل التبريد والشكل(2-5) يبين البنية المجهرية لهذه الحالة.

- التركيب(البنية) المجهري الثالث:

وهي بنية الفا + بيتا برايم الابرية القوام مع بلورات الفا متعددة السطوح. ويمكن تحقيق هذه البنية تبريد البراص ذو البنية (الفا + بيتا) من درجات الحرارة العالية لينتج عنه تحول بلورات بيتا الى بيتا برايم($\beta^{/}$) حول البلورات الفا ويتحول قسم اخر منها الى الطور الفا داخل البلورات فيتكون طور بيتا برايم يشبه الصفائح. ويبين الشكل(2-6) كيفية توزيع طوري الفا وبيتا برايم في هذه البنية.

- التركيب(البنية) المجهري الرابع:

وهو التركيب او البنية الابرية للطورين الفا وبيتا برايم حيث يبين الشكل (2-7) بنية الطورين الابرية والتي تنتج عن التبريد السريع من درجة حرارة الطور بيتا ($850^{\circ}C$).

التركيب (البنية) المجهري الخامس:

وهو التركيب او البنية المتكونة من بلورات الفا الكبيرة الحجم مع بنية ابرية متكونة من الطورين الفا وبيتا برايم على محيط بلورات الفا. يتم الحصول على هذه البنية عند التبريد السريع (الاخماد) من درجة الحرارة $780\text{-}850^{\circ}C$ وخصوصا في براص 62Cu% كما في الشكل(2-8).

يبين الجدول(2-4) اشهر سبائك البراص حسب تكوينها الكيميائي وبعض تطبيقاتها. كما ويبين الجدول(2-5) الخواص التشغيلية وقابلية التشكيل. في حين يبين الجدول(2-6) الخواص الفيزيائية لهذه السبائك.اما الجدول(2-7) فيدرج نفس الخواص الفيزياوية ولكن لسبائك البراص مع نسب مختلفة من الرصاص المضاف.

2- 3- 2 سبائك البراص الرصاصي (Leaded Brass)

يضاف الرصاص الى سبائك البراص لتحسين قابليتها على التشغيل بالخراطة والتفريز، وقد تصل نسبة الرصاص المضاف الى حوالى 4.5% وتختلف نسب الخارصين في هذه السبائك ضمن مدى واسع (45%- 10).ان الحد الاعلى لذوبان الرصاص في البراص لايزيد عن% 0.1 وبعده ينعزل الرصاص على شكل كرات منفصلة عن بعضها، الى حد ما، وموزعة ضمن بنية البراص. فعند تشغيل البراص بالخراطة مثلا تتكسر المناطق المحصورة بين كريات الرصاص وهذا يسهل عملية تشغيل المعدن وخلع النحاتة (الرايش) بسهولة ليتم الحصول على سطح صقيل نسبيا.

	الشكل (2-4): بلورات متعددة السطوح من الطور ألفا
	الشكل(2-5): بلورات متعددة السطوح من الطورين ألفا (α)، وبيتا برايم (β/) (بلورات β/ سوداء)

	الشكل(2-6): بنيه ابرية خليط من الطورين الفا (α)، وبيتا برايم($\beta^{/}$) مع بلورات من الفا متعددة السطوح
	الشكل(2-7): بنيه ابرية خليط من الطورين الفا وبيتا برايم
	الشكل (2-8): بلورات كبيرة من الطور الفا مع بنية ابرية من الطورين الفا + بيتا برايم بامتداد الحدود البلورية للطور ألفا.

جدول (2-4)

التكوين الكيميائي وتطبيقات سبائك البراص

صنف السبيكة	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة(wt%)									المواصفات والتطبيقات
	Cu	Al	Fe	Ni	Sn	Pb	P	اخرى	Zn	
CuZn5	94-96	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	جيدة جدا لاغراض التشكيل البارد وملائمة للطرق والتطبيقات الكهربائية
CuZn10	89-91	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	
CuZn15	84-86	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	جيدة جدا لاغراض التشكيل البارد و تستخدم صناعة الانابيب واجهزة قياس الضغط
CuZn20	79-81	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	
CuZn28	71-73	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	تستخدم في الصناعات العسكرية لقابليتها العالية على التشكيل البارد والسحب العميق وتستخدم في صناعة المشعات(Radiators)
CuZn30	69-71	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	
CuZn33	66-68.5	0.02	0.05	0.2	0.05	≤0.05	0.05	≤0.1	المتبقي	
CuZn37	62-64	0.03	0.1	0.3	0.1	≤0.1	0.1	≤0.1	المتبقي	لها قابلية جيدة للحام وسحب عميق والتشكيل البارد.

CuZn40	59.5-61.5	0.05	0.2	0.3	0.3	≤0.3	0.1	≤0.2	المتبقي	جيـدة للتـشكيل البـارد ومتعددة الاستخدامات
CuZn36 Pb3	60-62	0.05	0.3	0.3	0.2	2.5- 3.5	0.05	≤0.1	المتبقي	سبائك البراص الرصاصي لها قابلية عالية للتشغيل وملائمـة للمخـارط الاوتماتيكيـة، جيـدة لعمليات التشكيل البارد، لها نعومة عالية بعد التشغيل---الخ، ملائمة لجميع المقاطع والاشكال المثبوقة والمسحوبة. لها سطوح جيدة بعد التفريزوالتثقيب
CuZn36 Pb 2	62-64	0.05	0.2	0.3	0.1	1.5-2.5	0.05	≤0.1	المتبقي	
CuZn38 Pb 1	59-63	0.05	0.3	0.3	0.2	0.5-1.5	0.05	≤0.2	المتبقي	
CuZn39 Pb 2	58.5-60	0.1	0.4	0.3	0.2	1.0-2.5	0.05	≤0.2	المتبقي	
CuZn40 Pb 2	57-59	0.1	0.4	0.4	0.3	1.0-2.5	0.05	≤0.2	المتبقي	
CuZn44 Pb 2	54-56	0.5	0.5	0.5	0.4	1.0-2.5	0.05	≤0.4	المتبقي	
CuZn9 P b2	87.5-90.5	0.5	0.1	0.7	0.3	1.3-2.5	0.05	≤0.4	المتبقي	

جدول (2-5)

الخواص التشغيلية لسبائك البراص

صنف السبيكة	درجة حرارة التشكيل الساخن °C	قابلية التشكيل على الساخن	قابلية التشكيل على البارد	نسبة الاختزال بين مراحل التلدين %	قابلية التشغيل بالخراطة والفريز%*	قابلية لحام البراص		
						اللحام بالكاوية (Soldering)	اللحام بالمونة (Brazing)	لحام الاوكسي استلين Oxyacetylene
CuZn5	750-900	جيدة	ممتازة	90	25	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn10	750-900	جيدة	ممتازة	90	25	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn15	750-900	معتدلة	ممتازة	80	25	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn20	750-900	معتدلة	ممتازة	85	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn28 CuZn30	750-900	معتدلة	ممتازة	90	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn33	750-850	معتدلة	ممتازة	85	30	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn37	720-820	جيدة	جيدة	65	35	ممتازة	ممتازة	جيدة
CuZn40	650 750-	ممتازة	محدودة	40	45	ممتازة	جيدة	جيدة
CuZn9Pb2	775-885	محدودة	جيدة	75	80	ممتازة	جيدة	
CuZn30Pb2	700-800	معتدلة	معتدلة	50	75	ممتازة	جيدة	
CuZn36Pb3	700-775	معتدلة	محدودة	35	100	ممتازة	جيدة	
CuZn38Pb1	700-800	جيدة	معتدلة	25	70	ممتازة	جيدة	
CuZn39Pb2	650-775	ممتازة	محدودة	20	85	ممتازة	جيدة	
CuZn40Pb3	650-750	جيدة	محدودة	35	60	ممتازة	جيدة	
CuZn43Pb1	625-725	جيدة	محدودة	20	100	جيدة	معتدلة	

* اخذت النسبة على اعتبار ان السبيكة CuZn36pb3 لها قابلية تشغيل تساوي % 100.

جدول (2-6)
الخواص الفيزيائية لبعض سبائك البراص

صنف السبيكة	الكثافة عند 4°C (g/cm³)	مدى درجة حرارة الانصهار (°C)	مكافيء التمدد الحراري (20-300°C) $°C^{-1}$	الحرارة النوعية عند 20 °C cal/g.°C	التوصيلية الحرارية عند 20°C cal/cmS.C	التوصيلية الكهربائية عند 20°C m/Ω.mm²	المقاومية الكهربائية عند °C20 μΩ.cm	المكافيء الحراري للمقاومة الكهربائية عند 20°C $°C^{-1}$	معيار المرونة عند 20°C GN/m²	معيار الجسوء عند 20°C GN/m²
CuZn5	8.85	1055-1070	0.000018	0.09	0.56	32	3.1	0.0023	127	47
CuZn10	8.8	1025-1045	0.000018	0.09	0.45	26	3.9	0.0019	124	46
CuZn15	8.75	1000-1025	0.000019	0.09	0.39	21	4.7	0.0016	121	45
CuZn20	8.65	970-1010	0.000019	0.09	0.33	14	5.4	0.0015	118	43
CuZn28	8.55	910-965	0.000020	0.09	0.29	13	6.2	0.0015	114	41
CuZn30	8.55	910-965	0.000020	0.09	0.29	13	6.2	0.0015	114	41
CuZn33	8.5	902-940	0.000020	0.09	0.29	16	6.4	0.0016	112	40
CuZn37	8.45	902-920	0.000021	0.09	0.30	12	6.6	0.0017	109	39
CuZn40	8.40	895-900	0.000021	0.09	0.30	16	6.2	0.0020	104	38

جدول (2-7)

الخواص الفيزيائية لسبائك البراص الرصاصي

صنف السبيكة	الكثافة g/cm^3	مدى درجة حرارة الانصهار (°C)	مكافئ التمدد الحراري (20°C) $°C^{-1}$	الحرارة النوعية عند (20°C) cat/g C°	التوصيلية الحرارية cal/cmS.C	المقاومية الكهربائية μΩ.cm	الكافئ الحراري للمقاومة الكهربائية $°C^{-1}$	معيار المرونة *GPa	معيار الجسوء *GPa	التوصيلية الكهربائية $m/\Omega.mm^2$
CuZn9Pb2	8.8	1040-1010	0.000018	0.09	0.43	4.1	0.0018	118	43	24
CuZn36Pb2	8.5	885-910	0.000020	0.09	0.28	6.6	0.0015	101	37	15
CuZn36Pb3	8.5	885-900	0.000020	0.09	0.28	6.6	0.0015	100	36	15
CuZn38Pb1	8.4	885-900	0.000021	0.09	0.29	6.4	0.0016	98	36	16
CuZn39Pb2	8.4	880-895	0.000021	0.09	0.28	6.4	0.0016	97	35	16
CuZn40Pb2	8.4	885-900	0.000021	0.09	0.29	6.4	0.0016	99	36	16
CuZn40Pb3	8.4	875-890	0.000021	0.09	0.29	6.2	0.0017	96	35	16
CuZn43Pb1	8.4	870-885	0.000021	0.09	0.29	5.5	0.0019	80	30	18

1 Pa $=1N/m^2$ **1**GPa$=10^9$ N/m^2

يبين الشكلان (2-9) و(2-10) البنية الدقيقة لهذا النوع من البراص حيث تظهر كريات الرصاص وتوزيعها في البنية. لقد تم اخذ صورتين لكل حالة احداهما لسطح النموذج المصقول والثانية للسطح بعد اظهاره بالمحلول المظهرالمناسب. والشكلان لسبيكتي براص متقاربتين بمحتوى الرصاص. فتبلغ نسبة النحاس في النموذج الاول% 57.44

والرصاص % 2.97 والمتبقي هو الخارصين اما في النموذج الثاني فمقدار النحاس % 58.7 والرصاص %2.85 والمتبقي خارصين. وتمثل المناطق الداكنة الرصاص سواء قبل او بعد الاظهار.

2- 3- 3 سبائك البراص الالمنيومي (Aluminium Brasses)

يضاف الالمنيوم الى البراص لزيادة مقاومته للتاكل بماء البحر. واشهر سبائك هذا النوع هو البراص الحاوي على %76 نحاس و%22 خارصين و%2 المنيوم والتي تستخدم لتصنيع انابيب المبادلات الحرارية، وانواع اخرى تحتوي على نسبة تتراوح بين % 55-65 نحاس مع نسب متفاوتة من الالمنيوم والمنغنيز والحديد كعناصر مضافة والباقي في كل منها هو الخارصين الذي يمثل العنصر الثاني في محتوى السبيكة بعد النحاس. تضاف هذه العناصر او بعضها لتحسين مقاومة السبيكة. ومن الامثلة على ذلك السبائك التالية :


CuZn40Al2 ،CuZn37Al1 ،CuZn20Al2 ،CuZn23Al6Mn4Fe3

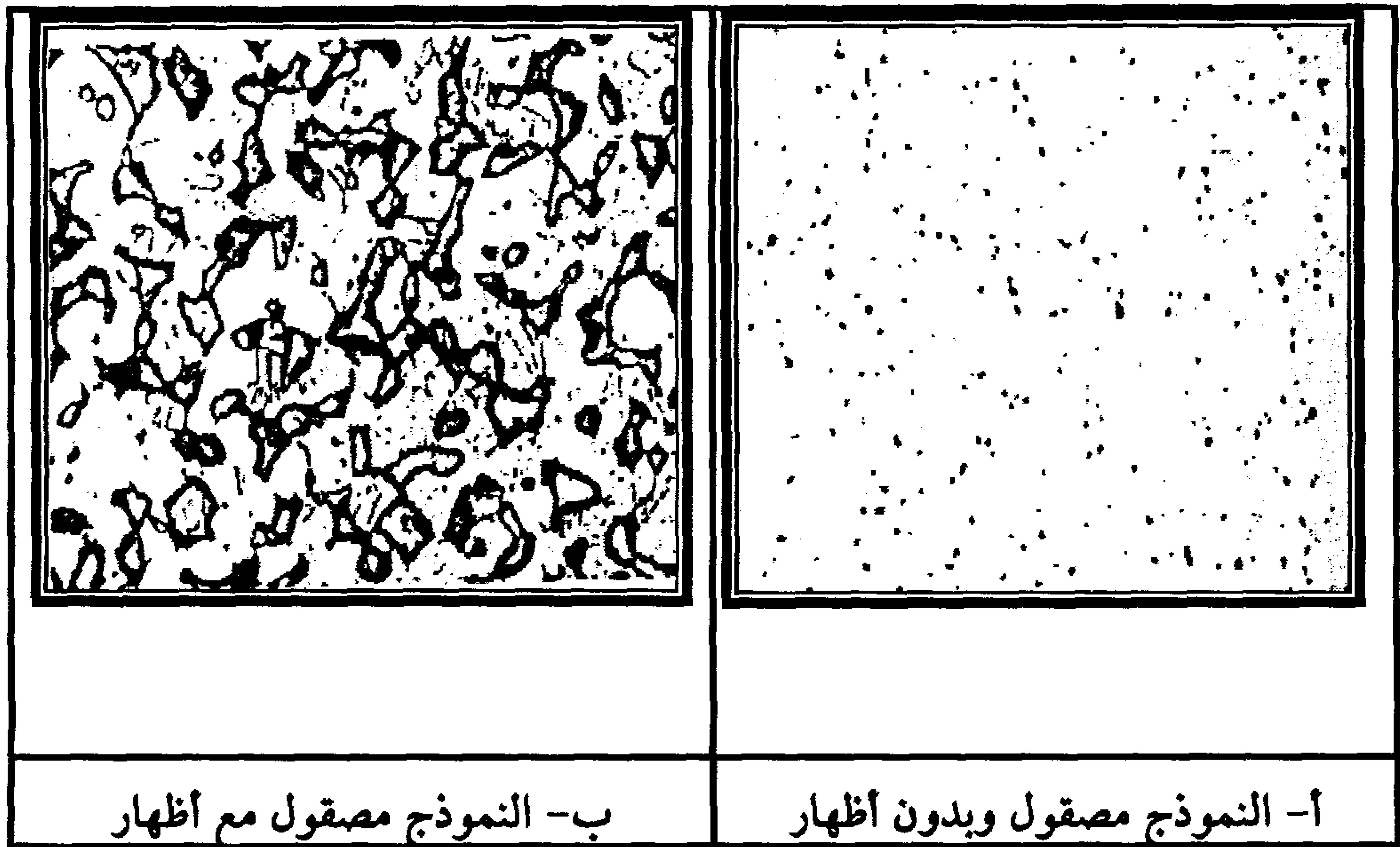
2- 3- 4 سبائك البراص القصديري

يتشابه القصدير والالمنيوم المضافين الى البراص في مفعولهما، حيث تؤدي اضافة القصدير الى السبيكة الى زيادة مقاومتها للتاكل(Corrosion resistance)، كما وجد ان مفعول الزرنيخ والكبريت على انفراد اوكليهما معا يؤدي ايضا الى زيادة مقاومة التاكل للسبيكة كما في السبيكتين CuZn28SnAl ،CuZn28Sn على سبيل المثال.

2- 3- 5 البرونزيات Bronzes

البرونزيات هي سبائك نحاسية تتكون من النحاس كعنصر اساس (لا يقل عن %60) مع عنصر اخر او اكثر، وهي غير سبائك النحاس مع الخارصين او النيكل وعندما يوجد الخارصين في السبيكة وتكون نسبته اقل من العنصر السبيكي الاساس (القصديراوالالمنيوم...الخ) تصنف السبيكة على انها برونز. وتصنف هذه السبائك كما في البراص الى احادية الطور(Single phase) او متعددة الأطوار(Multiphases) وتصنف ايضا على اساس العنصرالثاني بعد النحاس، على سبيل المثال، برونز القصدير و برونز

الالمنيوم، حيث يكون النحاس > القصديراو الالمنيوم> العناصرالاخرى، وغيرها من البرونزيات الاخرى. وعندما يكون هناك اكثرمن عنصر في السبيكة فتسمى السبيكة على اساس العنصر الذي يشكل اكبر نسبة بعد النحاس. فعلى سبيل المثال عندما تكون سبيكة برونز الالمنيوم حاويه على عنصر اخر أقل من الالمنيوم فتسمى برونزالالمنيوم (Aluminium Bronze)، كما وتصنف سبائك البرونز على اساس الاستخدام ايضا، فيقال برونز الاقطاب (Electrodes Bronze) او برونز الموصلات وهكذا.

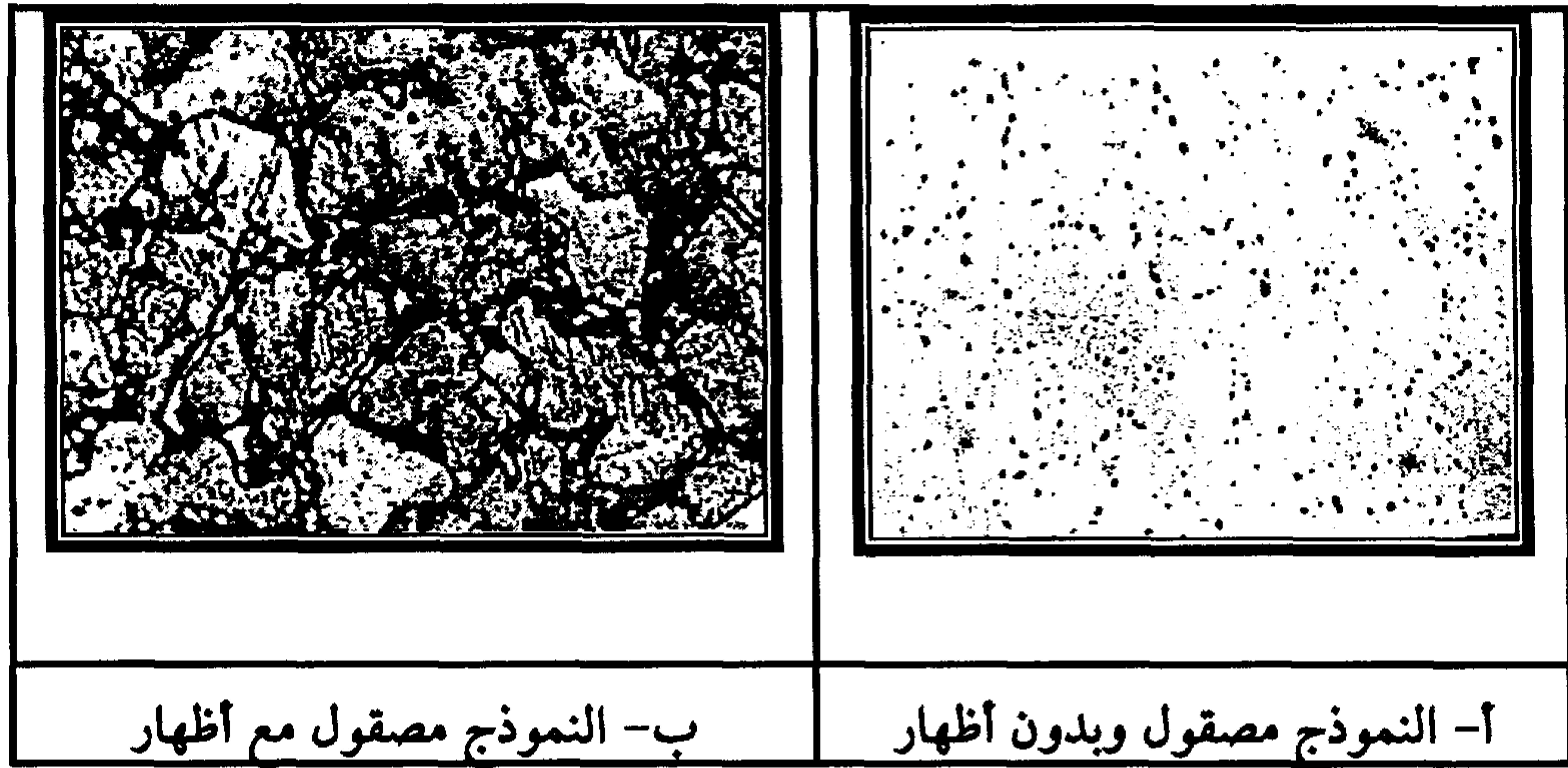


أ- النموذج مصقول وبدون أظهار

ب- النموذج مصقول مع أظهار

الشكل (2-9)

نموذجان من سبيكة البراص الرصاصي (Cu %44. 57+Pb %97. 2+ المتبقي Zn)،
اللون الغامق في النموذجين يتعلق بمناطق الرصاص في البنية الدقيقة للسبيكة.



ب- النموذج مصقول مع أظهار	أ- النموذج مصقول وبدون أظهار

الشكل (2-10)

نموذجان من سبيكة البراص الرصاصي (Cu %08. 58+Pb %85. 2+ المتبقي Zn)، اللون الغامق (الاسود) يبين مناطق تواجد الرصاص في البنية الدقيقة للسبيكة.

1- برونز القصدير (Tin Bronze)

تظهر في مخطط التوازن الطوري للنحاس – قصدير الشكل(2-11) الاطوار التالية:

أ- طورالفا (α- phase)

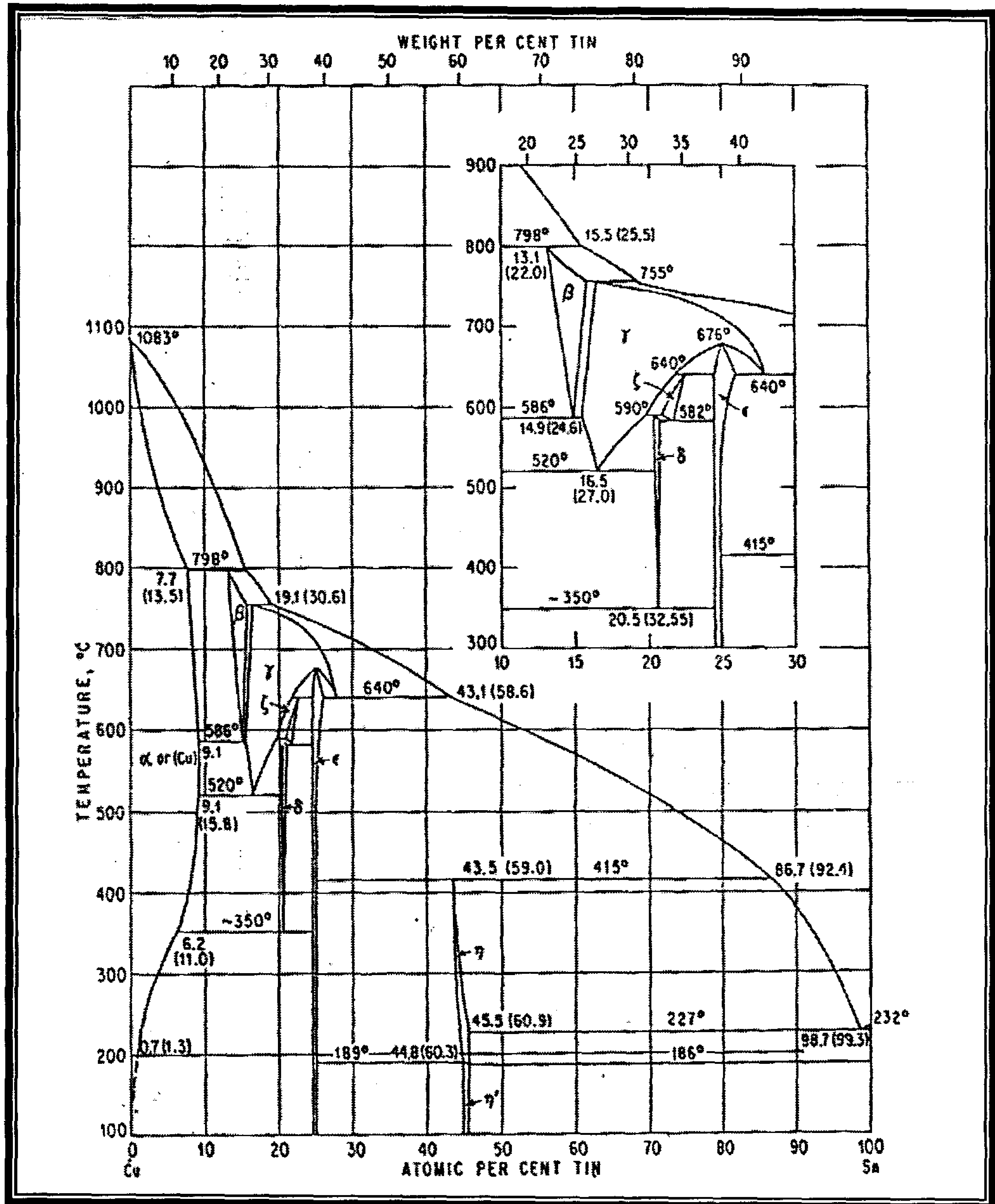
وهو عبارة عن محلول جامد(Solid Solution) من القصديرفي النحاس حيث ان اعظم قيمة لذوبان القصدير في النحاس تبلغ 15.8% عند درجة حرارة 520°C لتنخفض الى حد% 1.3 عند درجة 200°C والبنية البلورية لهذه السبائك هي (FCC).

ب- طور بيتا (β-phase)

وهو عبارة عن محلول جامد ايضا. اما بنيته البلورية فهي (BCC) وهو مستقرعند درجات الحرارة العالية نسبيا حيث يتحلل الى الطورين(α وγ) بانخفاضها وهكذا فهناك اطواراخرى كالطور δ وη و/ η....و حسب التكوين الكيميائي ودرجة الحرارة.

ومن المألوف اضافة الفسفور بنسبة تتراوح بين% 0.4-0.2 الى برونزيات القصدير والتي تتراوح نسب القصدير فيها بين% 20-2. ومن السبائك المشهورة سبيكتي CuSn10، CuSn6 حيث تكون الاولى بصورة سبائك مشكلة في حين تصنع الثانية كمسبوكات، كالجلب (Bushs) والتي تستخدم في صناعة مرتكزات التحميل (Bearings) واجزاء المضخات(Pumps) والصمامات (Valves)، والاستخدامات المماثلة التي يلزم فيها مقاومة بلي عالية (High wear resistance).

يمكن انتاج القضبان والاشرطة والشرائح والانابيب و الاسلاك من انواع البرونز الحاوي على نسب منخفضة من القصدير. ومن خلال المقارنة فقد وجد ان مقاومة الشد (Tensile Strength) والصلادة (Hardness) في حالة البرونز المسبوك والملدن ذات قيمة وسطية بين تلك التي للنحاس في حالتيه الملدنة (Annealed) والمصلدة (Hardened) حيث يتم تصليده بالتشكيل على البارد فقط. يتقبل البرونز التشكيل على البارد بنسب اقل مما في البراص. اذ يتطلب زيادة عدد المراحل (Passes) والتلدين الوسطي (Intermediate Annealing) والتي يمكن اجرائها بين$450\,^{\circ}C$ ولغاية $650\,^{\circ}C$.



الشكل(2-11)

مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس- قصدير.

تقاوم هذه الانواع من السبائك (برونزيات القصدير) التاكل بنفس القدر الذي عليه النحاس تقريبا ولكن، الى حد ما، افضل مما هو عليه في سبائك البراص. يبين الجدول(2-8) التكوين الكيميائي لسبائك البرونز القياسية وحسب المواصفة الالمانية (DIN 17662).

جدول (2-8)

بعض انواع سبائك برونز القصدير وتكوينها الكيميائي حسب المواصفة الالمانية (DIN 17662).

صنف سبيكة البرونز	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (%wt)						
	Cu	Sn	P	Zn	Ni	Fe	Pb
CuSn2	المتبقي	1-2.5	0.01-0.4	0.3	0.2	0.1	0.05
CuSn6	المتبقي	5.5-7.5	0.01-0.4	0.3	0.2	0.1	0.05
CuSn8	المتبقي	7.5-9	0.01-0.4	-----	0.2	0.1	0.05
CuSn6Zn	المتبقي	5-7	0.01-0.4	5-7	0.2	0.1	0.05

2- برونز الالمنيوم (Aluminium Bronze)

تظهر في مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس – المنيوم الشكل(2-12) الاطوار التالية:

أ- طور الفا (α- phase)

وهو محلول جامد للالمنيوم في النحاس، وتصل اعظم نسبة لذوبان الالمنيوم في النحاس الى 9.4% عند درجة حرارة الغرفة وحتى درجة الحرارة $565^{o}C$. اما عند الوصول الى اعلى من هذه الدرجة فتبدا قابلية الذوبان بالنقصان كلما ارتفعت درجة الحرارة وحتى بداية الذوبان عند $1037^{o}C$.اما البنية البلورية لهذا الطور فهي FCC..

ب- الطور بيتا(β-phase)

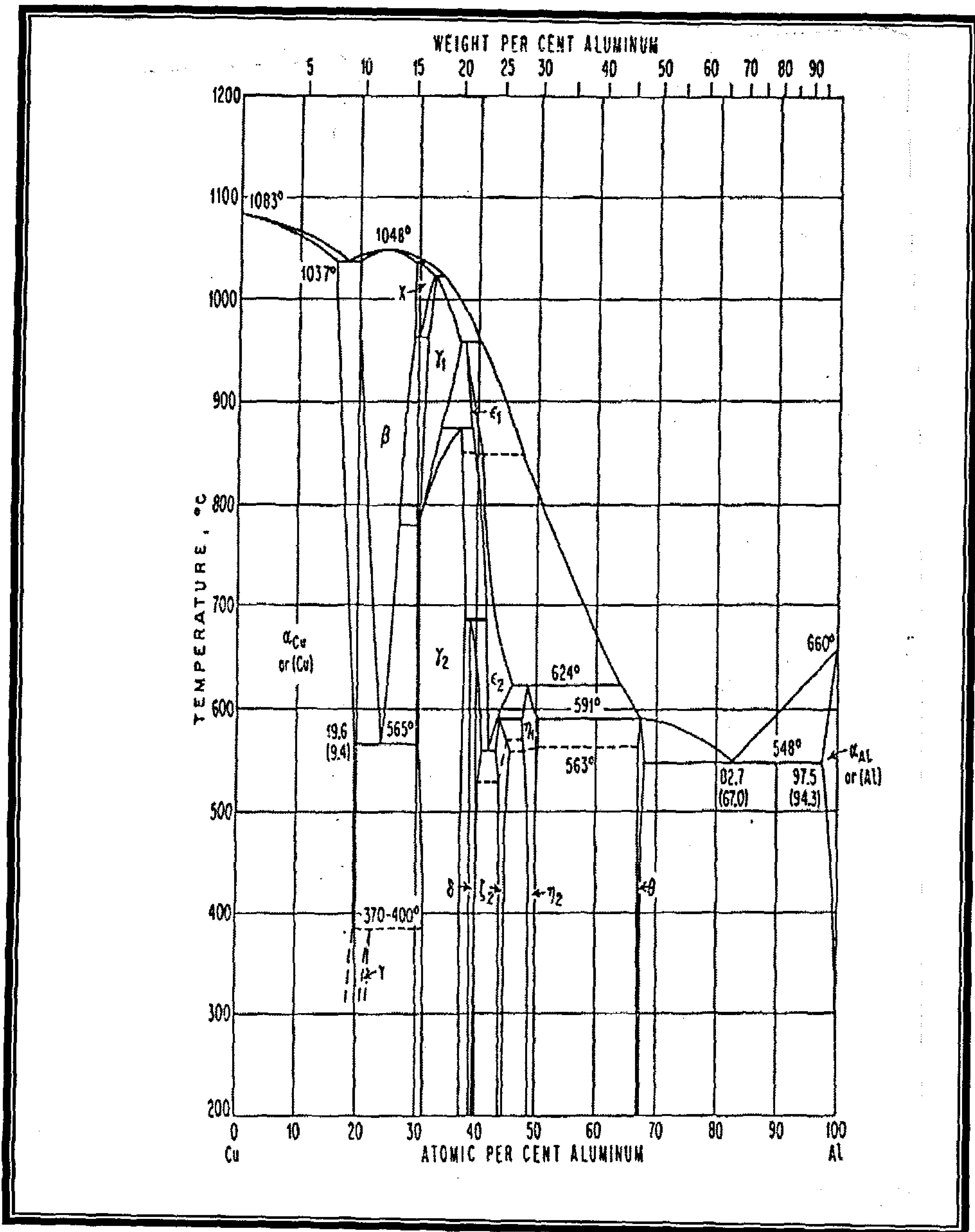
وهو محلول جامد ايضا للالمنيوم في النحاس لكن نسبة الالمنيوم فيه اعلى مما في الطور الفا. اما بنيته البلورية فهي BCC، وهذا الطور مستقر عند درجات الحراره العالية اي اعلى من 565°C وعند انخفاض درجة الحرارة يتحول الى خليط من الطورين الفا وكاما -2 $(\alpha + \gamma_2)$.

ج- الطور كاما-2 (γ_2-phase)

وهو ايضا محلول جامد من الالمنيوم في النحاس وتركيز الالمنيوم فيه اعلى من الطور(β) وله بنية بلورية معقدة نسبيا.

تشتهر في الصناعة مجموعتان من سبائك برونزيات الالمنيوم هما:

- اولا: السبائك التي تتراوح فيها نسبة الالمنيوم بين % 8 -5 والباقي نحاس وبدون عناصر اخرى. وهذه السبيكة احادية الطور ويحتوي تركيبها على محلول جامد هو الطور الفا فقط، كما مر ذكره.
- ثانيا: السبائك التي تحتوي على% 10 المنيوم مع عناصر اخرى كالحديد والنيكل والمنغنيز واحيانا السليكون. وهذه المجموعة يمكن ان تصلد بعمليات المعالجة الحرارية كالاخماد (Quenching) والمراجعة (Tempering).



الشكل (2-12)

مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس – المنيوم.

ويبين الجدول (2-9) بعض من هذه السبائك المعروفة في الصناعة.

جدول(2-9)

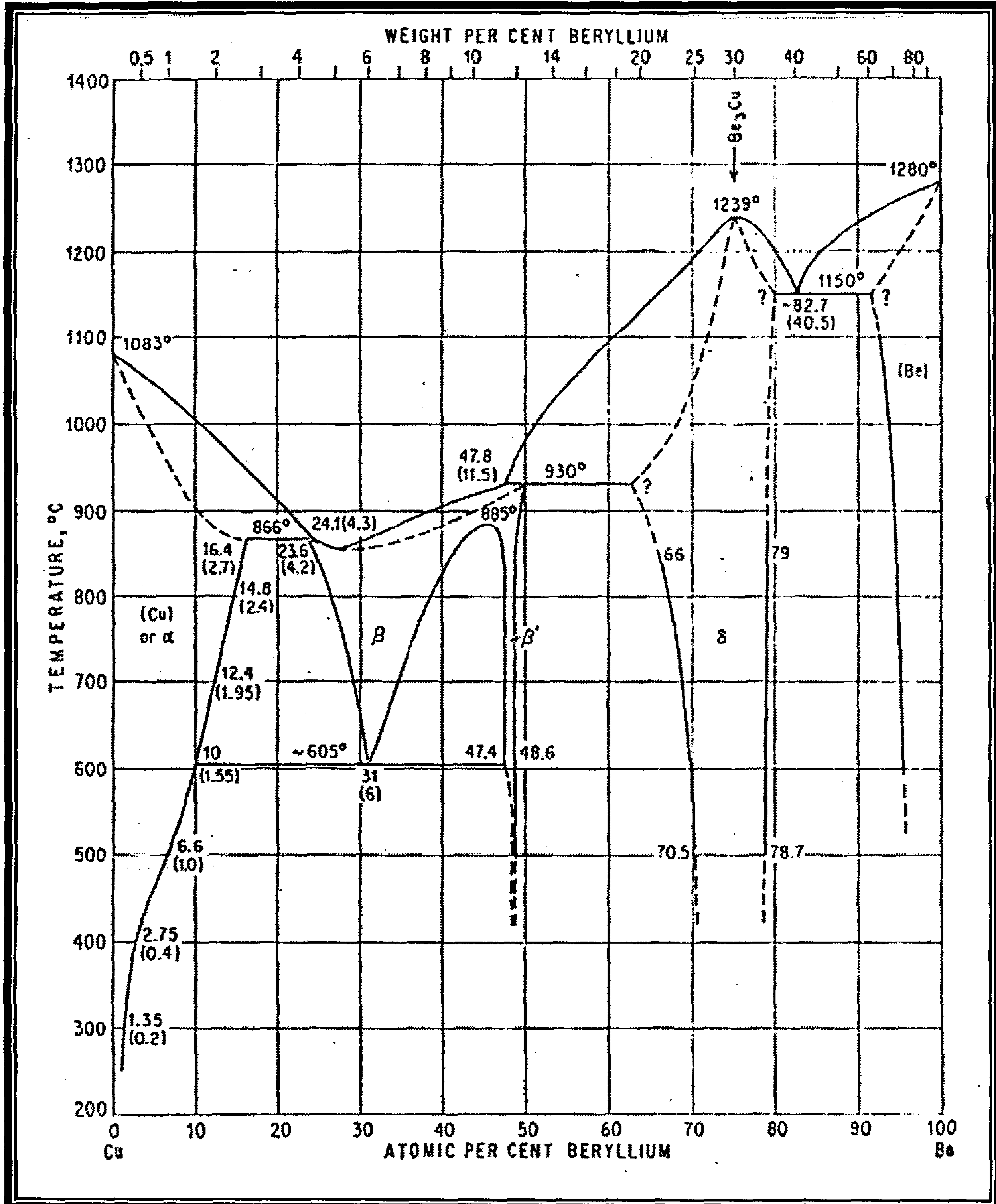
التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (wt%) لبعض برونزيات الالمنيوم حسب المواصفة الالمانية (DIN 17665).

سبيكة برونز الالمنيوم	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (%wt)							
	Cu	Fe	Al	Mn	Ni	Pb	Zn	Si
CuAl5	المتبقي	≤0.4	4-6	≤0.3	≤0.8	0.02	0.5	0.2
CuAl8	المتبقي	≤ 0.5	7-9	≤ 0.8	≤0.8	0.02	0.5	0.2
CuAl8Fe	المتبقي	1.5-3.5	6.5-9	≤0.8	≤0.8	0.02	0.5	0.2
CuAl9Mn	المتبقي	≤1	7.9-9.9	1.5-3	≤0.8	0.02	0.5	0.2
CuAl11Ni	المتبقي	4.8-7.3	10.5-12.5	≤1.5	5-7	0.05	0.5	0.2

3. برونزيات البيريليوم (Copper Beryllium Alloys)

يبين مخطط التوازن الطوري (الشكل2-13) ان النحاس يُذيب% 2.7 من عنصر البيريليوم في المحلول الجامد عند درجة 865°C وان هذه الذوبانية تنخفض الى قيمة واطئة عند درجة حرارة الغرفة. فاذا اخمدت السبيكة المحتوية على% 2 بيرليوم، على سبيل المثال، من درجة 800°C، فالمحلول الجامد – الفا سوف يستمر متواجدا عند درجة حرارة الغرفة. ان هذا المنتوج المخمد، الذي يمكن ان يوصف بانه محلول فوق الاشباع لعنصر البيرليوم في النحاس، يكون شبه مستقر (meta-stable) عند درجة حرارة الغرفة وسوف

يرتد الى البنية (الفا + كاما) حيثما تتهيأ له الظروف المواتية. تكون السبيكة المخمدة لينة ومطيلية ويمكن ان تصلد بالتشكيل البارد.



الشكل (2-13)

مخطط التوازن الحراري الطوري لنظام النحاس بريليوم (Cu-Be).

واذا سخنت السبيكة المخمدة واللينة (او المصلدة انفعاليا) (Strain hardened) الى حوالي 300 °C، فان زيادة كبيرة تحدث في الصلادة والمقاومة ويمكن الحصول على مقاومة شد تصل الى حدMPa 1400. وهذا التحسن في الخواص الميكانيكية ناتج من تكون دقائق لايمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي (Sub-microscopic particles) اثناء عملية المعالجة الحرارية عند 300°C وهذه العملية تدعى التصليد بالترسيب (Precipitation hardening) مع انه لم يحصل ترسيب حقيقي بعد.

تحتوي السبائك التجارية على حوالي% 1.8 من البريليوم وحوالي% 0.5 من الكوبلت لتحسين الاستجابة للمعالجة الحرارية. والسبائك المصلدة بالترسيب لها مقاومة عالية للبلي والتاكل واجهاد حد الكلال، وخواص مرونة جيدة وهي تقاوم التليين حتى حوالي 250°C. وتستخدم هذه السبائك للنوابض والمنافيخ، والحواجز اضافة الى العُدد غير القدحية (Non-sparking tools) واقطاب لحام المقاومة.

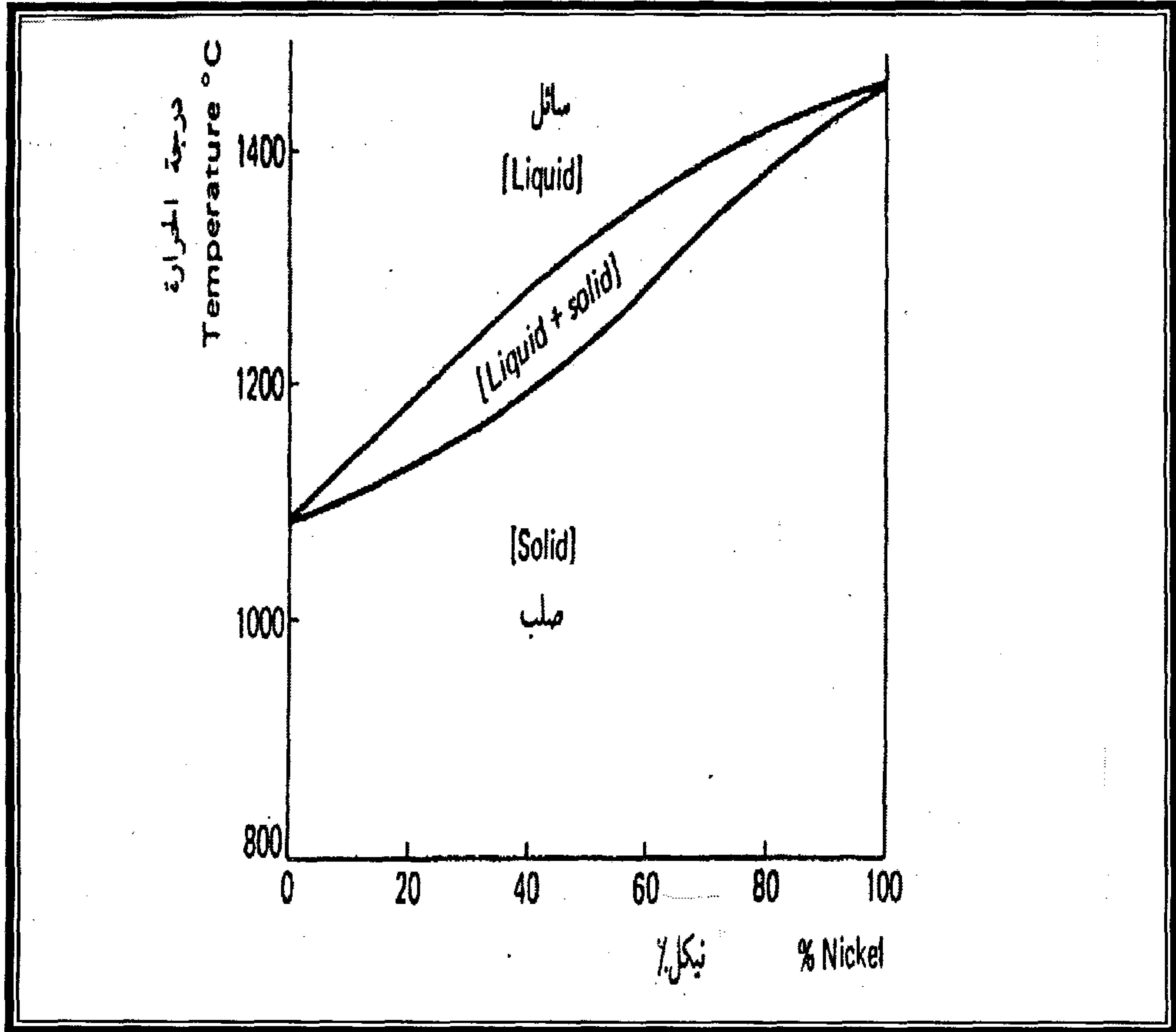
2- 3- 6 سبائك النحاس- نيكل(Copper-Nickel Alloys)

وتسمى هذه السبائك (كبرونيكل) وتمثل نوع اخر من السبائك النحاسية حيث يتذاوب النحاس والنيكل في بعضهما وبجميع النسب وبدون تكوين مركبات معدنية (Intermetallic Compounds). يمثل الشكل (2-14) مخطط التوازن الحراري (الطوري) لنظام النحاس- نيكل ومنه يظهر ان جميع سبائك النحاس - نيكل احادية الطور(Single phase) ولا تقبل اي نوع من انواع المعاملات الحرارية عدا التلدين الذي يُجرى من اجل ازالة الاجهادات التي تحصل اثناء عمليات التشكيل البارد.

تصل درجة الحرارة اللازمة للتلدين الى 700 °Cوبزمن قصير من اجل منع ظاهرة النموالبلوري (Grain growth). لايمكن تصليد السبيكة بعد التلدين الا بالتشكيل البارد(Cold deformation) مع الاخذ بنظر الاعتبار ان قابلية التشكيل تقل كلما زادت نسبة النيكل في السبيكة.

تضاف عناصر اخرى لبعض انواع سبائك النحاس- نيكل كالحديد والكروم والمنغنيزوالسليكون والالمنيوم وبعض هذه السبائك قابلة للتصليد

بالتعتيق(Agehardening) وبدون عمليات تشكيل على البارد. ويبين الجدول (2-10) امثلة من هذه السبائك وتكوينها الكيميائي حسب المواصفة الالمانية (DIN 17664).



الشكل (2-14)

مخطط التوازن الحراري للنحاس - النيكل.

الجدول (2-10)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس- نيكل بموجب المواصفة الالمانية (DIN 17664) وزنا بالمئة.

سبيكة النحاس- نيكل	Cu %	Ni %	Fe %	Mn %
CuNi5Fe	المتبقي	4.8-6	1-1.5	0.3-0.8
CuNi10Fe	المتبقي	9-11	1-1.8	0.5-1.0
CuNi20Fe	المتبقي	20-22	0.5-1	0.5-1.5
CuNi25	المتبقي	24-26	----	-----
CuNi30Fe	المتبقي	32-30	0.4-1	0.5-1.5
CuNi44	المتبقي	43-45	------	-----

4-2 تاثير العناصر المضافة على خواص سبائك النحاس:

أ- النيكل Ni

يرفع النيكل متانة(Toughness) النحاس ويزيد من مقاومته للتاكل وخصوصا بماء البحرويزيد المقاومة الكهربائية للمعدن(Electric resistance).

ب-الحديد Fe

يضاف الى السبائك النحاسية من اجل زيادة مقاومتها للشد(Tensile strength) ولزيادة مقاومة المعدن للتاكل الصدمي(Impingement corrosion).

ج- المنغنيز Mn

يضاف من اجل ازالة تاثير الكبريت(De-sulphurizing) ويزيل انخفاض مقاومة التاكل التي يسببها وجود الكبريت كما يمنع هشاشية(Brittleness) المعدن.

د- الكروم Cr

يضاف لرفع صلادة المعدن ومقاومته وتحسين مقاومته للتاكل بماء البحر وذلك بتكوين طبقة واقية من اوكسيده.

هـ- التيتانيوم Ti

يضاف هذا المعدن الى قضبان اللحام والاجزاء التي غالبا ما يتم لحامها وذلك لتقليل مسامية منطقة اللحام.

و- السليكون Si

يضاف الى السبائك الحاوية على% 2.5 نيكل ليجعلها ممكنة التصليد بالتعتيق نتيجة ترسب مركبات معدنية في المحلول الجامد الاساس.

يبين الجدول (2-11) التكوين الكيميائي لسبائك البرونز وتطبيقاتها. كما يبين الجدول (2-12) الخواص الفيزيائية لبعض سبائك البرونز. كما يبين الجدول (2-13) التكوين الكيميائي لسبائك نحاس أخرى و يتطرق الى تطبيقاتها. اما الجدول (2-14) فيبين الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس. في حين يبين الجدول (2-15) التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس اضافة الى تطبيقاتها. كذلك يبين الجدول (2-16) الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس أنفة الذكر.اما الجدول (2-17) فيعرض التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس نيكل ويتطرق الى تطبيقاتها. واخيرا فالجدول (2-18) يتضمن الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس نيكل انفة الذكر.

جدول(2-11): التكوين الكيميائي لسبائك البرونزوتطبيقاتها. *= (Ni+Co)

صنف السبيكة	Cu95Sn5	Cu92Sn8	Cu90Sn10	Cu 88 pb 4 Sn4 Zn4	Cu 98.5 Si 1.5	Cu 97 Si 3	Cu 95Al 5
التكوين الكيميائي وزنا بالمئة، %wt							
Cu	93.6-95.6	90-92.8	88.3- 90.07	المتبقي	المتبقي	المتبقي	92-96
Sn	4.2-5.8	7-9	9-11	3.5-4.5	----	----	----
Pb	0.05	0.05	0.05	3.5-4.5	0.05	0.5	----
Al	----	-----	-----	----	----	---	4-7
Fe	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.8	0.5
Ni	----	-----	-----	----	----	0.6	----
Si	----	----	----	----	0.8-2	2.8-3.8	----
Co	---	---	---	---	---	---	---
P	0.035 - .003	0.035- 0.03	0.035 - 0.03	0.5	0.05	---	----
Zn	0.3	0.2	0.2	1.5-4.5	1.5	1.5	----
Mn	----	-----	-----	----	0.7	1.5	----
عناصر اخرى	----	-----	-----	----	----	---	0.5
التطبيقات	مساند الجسور، مشابك الفواصل، بطائن معدنية، اجزاءالمفاتيح الكهربائية، اسلاك، اسلاك لحام، مشبكات المكائن، فلكات (washers)، مثبتات.		قضبان وصفائح لتحمل ضغوط عالية مقاومة للتاكل وذات خواص نابضية.	قضبان لتصنيع اللوالب، واجزاء المكائن والمضخات وفي الغواصات والسفن.	هيدروليك الطائرات، اللوالب، انابيب المبادلات الحرارية، وماسكات القابلوات.	اجزاء هيدروليك الطائرات، الاجهزة الكيميائية، انابيب المبادلات، حلقات المكابس.	انابيب المبادلات الحرارية، تطبيقات تتطلب مقاومة للتاكل.

قضبان واسلاك تستخدم في صناعة الاعمدة واللوالب، بطانة للصلب.	انابيب وقضبان وصفائح تستخدم في اجزاء المبادلات الحرارية.	مرتكزات التحميل، بطائن معدنية، تروس، اعمدة المفخخات، كامات(cams)، الاجزاء المقاومة للتاكل.	اجزاء المضخات، صمامات، تروس، انابيب وصفائح في المكثفات ولاتستخدم في الاوساط المؤكسدة.	يستخدم في اجزاء الفواصات لمقاومتها للتاكل.	لوالب، صامولات، اجزاء المكائن، قضبان واسلاك لاغراض الصيانة التوابض واجزاء المفاتيح الكهربائية.		في صناعة قوالب ودرافيل(اسطوانات) التشكيل، الكامات، صفائح مقاومة للبلي، بطانات معدنية
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	---	---	0.5
---	1	0.5	1.5	3.5	----	0.1	2
0.2	0.2	---	0.3	---	0.5	0.8	----
---	0.015	------	----	---	----	----	----
---	---	---	---	---	----	0.25	---
0.1	----	0.25	0.25	0.1	0.7-1.3	1.5-2.1	----
---	-----	*1	4-5.5*	4*-5.5	0.15	0.1	----
0.5	1.5-3.5	2-4	2-4	3-5	0.15	0.1	3.5-5.0
6-8.5	6-8	8.5-11	9-11	8.5-9.5	3-4	2.5-3.1	12.5-13.5
0.02	0.01	-----	----	0.02	0.05	0.05	----
----	-----	0.6	----	----	0.2	---	----
المتبقي	88-92.5	82.2-89.2	82-87	75.9- 84.5	93.5-96.3	المتبقي	المتبقي
Cu 92 AL 8	Cu91Al7Fe2	Cu87Al10Fe3	Cu82Al10Ni5Fe3	Cu82Al9Ni5 Fe4	Cu95.5 Al3.5 Si1	Cu95Al2.8 Si18Co0.4	Cu82.7Al13 Fe4.2

جدول (2-12)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك البرونز.

صنف السبيكة	الكثافة g/cm^3	مدى درجات حرارة الانصهار °C	معامل التمدد الحراري $°C^{-1}$	معيار المرونة GPa	التوصيلية الحرارية Cal/cm.S.°C	التوصيلية الكهربائية $m/\Omega.mm^2$	المقاومة الكهربائية $\mu\Omega.cm$
Cu95Sn5	8.86	975-1060	0.000017	111	0.200	11.6	8.7
Cu92Sn8	8.8	880-1020	0.000018	111	0.148	7.5	13.3
Cu88Pb4Sn4Zn4	8.89	930-1000	0.000017	104	0.206	11.0	9.0
Cu90Sn10	8.78	845-1000	0.000018	111	0.119	6.38	15.7
Cu98.5Si1.5	8.75	1030-1060	0.000018	118	0.136	6.96	14.4
Cu95Al5	8.17	1050-1065	0.000018	122	0.189	9.86	10.0
Cu92Al8	7.78	1040-1045	0.000017	118	0.165	8.7	11.5
Cu91Al7Fe2	7.89	1040-1045	0.000016	118	0.134	8.12	12.3
Cu87Al10Fe3	7.65	1040-1045	0.000016	118	0.129	6.69	14.4
Cu82Al10Ni5Fe3	7.58	1035-1055	0.000016	118	0.090	5.2	19.2
Cu82Al9Ni5Fe4	7.64	1040-160	0.000016	118	0.086	4.0	24.6
Cu95.5Al3.5Si1	8.33	1035	0.000017	111	0.136	6.96	14.3
Cu97 Si3	8.35	970-1025	0.000018	104	0.086	4.0	24.6
Cu95Al2.8Si1.8Co0.4	8.28	1000-1030	0.000017	117	0.099	5.8	17.4
Cu82.7Al 15Fe4.3	7.21	1047-1052	0.000016	111	0.093	4.64	17.2

جدول(2-13)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس وتطبيقاتها.

صنف السبيكة	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة wt٪									التطبيقات
	Cu	Zn	Sn	Ni	Pb	Fe	Si	Mn	As	
Cu91Zn7.2Sn1.8	89-93	المتبقي	1.5-2.2	-----	0.1	0.05	-----	----	-----	صفائح مدرفلة لنوابض المفاتيح الكهربائية
Cu 90.5 Zn 4.35 Sn 5.15	89-92	المتبقي	4.8-5.5	-----	0.1	0.05	-----	-----	-----	للتوصيلات الكهربائية
Cu71Zn28Sn1	70-73	المتبقي	0.8-1.2	-------	0.07	0.9-1.2	-----	-----	0.1-0.2	انابيب المكثفات والمبادلات الحرارية المقاومة للتاكل
Cu60Zn39.2Sn0.8	59-62	المتبقي	0.5-1.0	-----	0.2	0.1	-----	-----	0.1-0.2	الواح المكثفات، اسلاك اللحام، اعمدة المراوح، خزانات خاصة بالطائرات
Cu60.5Zn38Sn0.8	59-62	المتبقي	0.5-1.0	-----	0.4-1	0.1	-----	-----	-----	لصيانة الغواصات، اجزاء صمامات البخار، اللوالب المشغلة بالخراطة
Cu81.5Zn14.5Si4	80-83	المتبقي	----	------	0.3	0.2	3.5-4.5	------	-----	اجزاء صمامات البخارلمقاومة التاكل وذات مقاومة عالية، الاجزاء المصنعة بالخراطة او الحدادة
Cu65Zn25Ni10	63.5-68.5	المتبقي	-----	9-11	0.1	0.25	-----	0.5	----	اللوالب، البراشيم، السطوح المنزلقة ولوحات الاسماء واعمال الصيانة العامة
Cu55Zn20Ni18	53.5-56.5	المتبقي	-----	16.5-19.5	0.1	0.25	-----	0.5	-----	اسلاك بعض المقاومات الكهربائية والنوابض
Cu65Zn25Ni8pb2	63-67	المتبقي	------	7-9	1.5-2.5	0.35	-----	0.5	-----	اجزاء الساعات والاقفال وصفائح الساعات
Cu88.2Ni9.5Sn2.3	63-67	المتبقي	1.8-2.8	8.5-10.5	0.05	0.6	-----	0.2	-----	نوابض المفاتيح الكهربائية، اسلاك خاصة بلحام المونه(brazing)، اجهزة السيطرة

جدول(2-14)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس.

المقاومية الكهربائية µΩ.cm	التوصيلية الكهربائية m/Ω.mm²	التوصيلية الحرارية Cal/cm.S.°C	معيار المرونة GPa	معامل التمدد الحراري °C⁻¹	مدى درجات حرارة الانصهار °C	الكثافة g/cm³	صنف السبيكة
6.2	16.24	0.293	110	0.000018	1010-1032	8.8	Cu91Zn7.2Sn1.8
7.6	12.76	0.239	124	0.000018	1000-1025	8.8	Cu90.5Zn4.35Sn5.15
6.9	14.00	0.260	110	0.000020	900-935	8.53	Cu71Zn28Sn1
6.63	15.00	0.277	103	0.000021	885-900	8.41	Cu60Zn39.2Sn0.8
28	3.60	0.062	110	0.000020	820-920	8.19	Cu81.5Zn14.5Si4
6.63	15.00	0.277	104	0.000020	885-900	8.44	Cu60.5Zn38Sn0.8

19.2	5.22	0.107	120	0.000016	1020	8.69	Cu65Zn25Ni10
31.4	3.20	0.070	124	0.000016	1055	8.70	Cu55Zn27Ni18
24.6	4.00	0.086	124	0.000016	1040–1075	8.70	Cu65Zn20Ni15
17.2	6.3	0.115	117	0.000018	970–1000	8.69	Cu65Zn25Ni8Pb2
15.7	6.38	0.128	138	0.000016	1060–1130	8.19	Cu88.2Ni9.5Sn2.3

جدول (2-15)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس وتطبيقاتها.

صنف السبيكة	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة %wt													التطبيقات
	Cu	Be	Co	Ni	Si	Sn	Pb	Zn	P	Ag	Fe	Al	Cr	
Cu99Cr0.8 Be 0.06	>98.5	0.02 -0.1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1-0.6	الاجزاء الكهربائية
Cu99Cr1	98-99.6	---	---	---	---	---	0.015	---	0.04	---	---	---	0.4-1.6	الموصلات الكهربائية والحرارية ذات المتانة العالية.
Cu96Co1.5 Ag1Be 0.4	الباقي	0.55-0.3	14.-1.7	0.2	0.15	0.1	0.002	0.1	---	0.8-1.2	0.1	0.1	0.1	اسلاك القطع، اسلاك اللحام، (تحسن الفضة توصيلية السبيكة)
Cu98Ni15Be 0.5	الباقي	0.80-3.50	0.2	1-2	0.15	0.1	0.02	0.1	---	---	0.1	0.1	0.1	أقطاب لحام النقطة، أجزاء الفرامل والمفاصل
Cu98Be1.7 Co 0.3	الباقي	1.75-1.65	0.4-0.2	0.1	---	0.1	0.02	0.1	---	---	0.2	0.15	0.1	كامات، بطانات، تروس، نماذج تشكيل، نماذج قوالب البلاستك.
Cu97.2Be2 Co 0.5Si 0.25	>95.5	2.15-1.9	0.35-0.70	0.2	0.2 - 0.35	0.1	0.02	0.1	---	---	0.25	0.15	0.1	الصمامات، الاجزاء المعرضة للبلى، لصناعة نماذج قوالب البلاستك.
Cu97Be2.4 Co 0.5	الباقي	2.25-2.45	0.35-0.70	0.2	0.2 - 0.35	0.1	0.02	0.1	---	---	0.2	0.15	0.1	لصناعة نماذج قوالب البلاستك.

كامات، مرتكزات التحميل، بطانات، صمامات، اجزاء اجهزة الاتصالات	صمامات الضغط المنخفض، تراكيب الانابيب، انابيب الكازولين	اجزاء المشعات Radiators)مفاتيح الغاز، مثبتات خفيفة، اجزاء الاثاث	مرتكزات التحميل، بطانات، مسراوح المضخات وهياكلها، اجزاء الصمامات	التروس والعجلات والمساند، مرتكزات التحميل التي تعمل تحت حمل عال وسرع واطئة		التروس والصفائح المقاومة للبلي و الكامات	مساند ومرتكزات التحميل التي تعمل تحت حمل كبير وعند سرع عالية
0.1	----	----	----	----	----	----	----
0.15	0.005	0.35	0.005	0.005	----	----	----
0.25	0.3	0.7	0.15	0.15	----	0.2	0.15
---	----	---	---	---	---	---	---
---	0.05	---	0.05	0.1 -0.3	—	0.5	0.05
0.1	4-6	24-32	1-3	0.5	4.5-3.5	0.25	0.7
0.02	4-6	1.5-3.5	0.3	0.5	3.5-4.5	2-3.2	8-11
0.1	4-6	5.-0.5	9-11	10- 12	7.5-8.5	9-11	9-11
0.35-0.2	0.05	0.05	----	----	0.005	0.005	0.003
0.2	----	1	1	----	1	4- 8.2	0.7
0.35-0.7	1.0	---	---	---	---	---	---
2.5-2.75	----	---	---	---	---	---	---
>94.8	84-86	65-70	86-89	88-90	المتبقي	81 .5 -85	78-82
Cu96.6Be2.6 Co 0.5Si 0.3	Cu85Sn5pb5 Zn5	Cu67Zn29pb3Sn1	Cu88Sn10 Zn2	Cu89Sn11	Cu87Sn8Pb1Zn4	Cu84Sn10 Ni3.5Pb2.5	Cu80Sn10 Pb10

جدول(2-16)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس.

صنف السبيكة	الكثافة g/cm^3	مدى درجات حرارة الانصهار °C	معامل التمدد الحراري °C^{-1}	معيار المرونة GPa	التوصيلية الحرارية Cal/cm.S.°C	التوصيلية الكهربائية m/ Ω.mm^2	المقاومية الكهربائية μΩ.cm
Cu99Cr0.8Be0.06	8.81	1075-1100	0.000018	111	0.620	40.6	2.46
Cu99Cr1	8.82	1075-1085	0.0000171	119	0.752	52.2	3.83
Cu97Co1.5Ag1Be0.4	8.62	1010-1070	0.000018	111	0.520	27.84	3.59
Cu98Ni1.5 Be0.5	8.75	1040-1115	0.0000162	115	0.438	27.84	3.59
Cu98Be1.7Co0.3	8.31	900-1000	0.000017	129	0.252	14.5	6.9
Cu97.2Be2Co0.5Si0.25	8.26	850-975	0.000017	129	0.252	11.6	8.62

Cu97Be2.4Co0.5	8.16	850-950	0.000017	132	0.239	11.02	9.07
Cu96.6Be2.6Co0.5Si0.3	8.09	835-930	0.000017	134	0.227	10.44	9.58
Cu85Sn5Pb5Zn5	8.83	852-1010	0.000018	84	0.173	8.7	----
Cu67Zn29Pb3Sn1	8.45	925-940	0.0000202	90	0.260	11.36	----
Cu88Sn10Zn2	8.72	854-999	0.000020	104	0.177	6.38	----
Cu89Sn11	8.77	832-1000	0.000018	104	0.169	5.57	----
Cu87Sn8Pb1Zn4	8.80	855-1000	0.000018	97	0.177	6.96	----
Cu84Sn10Ni3.5Pb2.5	8.79	860-1030	0.000017	97	0.139	5.33	----
Cu80Sn10Pb10	8.95	762-928	0.0000185	84	0.112	5.80	----

جدول(2-17)

التكوين الكيميائي لبعض سبائك النحاس- نيكل وتطبيقاتها.

صنف السبيكة	التكوين الكيميائي وزنا بالمئة (%wt)											التطبيقات
	Cu	Ni	pb	Fe	Zn	Mn	Zr	Cr	Ti	C	أخرى	
Cu90Ni10	الباقي	9-11	0.05	1-1.8	1	1	----	----	----	----	0.5	المكثفات وانابيب المبادلات الحرارية والمبخرات وانابيب المياه المالحة، لها قابلية جيدة للحام
Cu80Ni20	الباقي	19-23	0.05	1	1	1	----	----	----	----	0.5	مراحلات الاتصالات، الواح المكثفات الموازين الكهربائية انابيب المبخرات والمبادلات الحرارية
Cu70Ni30	الباقي	29-33	0.05	0.4-0.7	1	1	----	----	----	----	0.5	انابيب اجهزة التقطير، المبادلات الحرارية و المكثفات
Cu67.2Ni30Cr2.8	الباقي	28-32	----	----	----	----	0.02-0.25	2.4-3.2	0.01-0.02	0.04	0.5	انابيب والواح المكثفات انابيب المياه المالحة، المبادلات الحرارية
Cu83Ni16.5Cr0.5	الباقي	15-18	----	0.5-1	----	0.4-0.9	----	0.3-0.7	0.03	0.03	0.5	انابيب المبادلات الحرارية و المكثفات وانابيب المياه المالحة
Cu65Ni18Zn17	66.5-63	19.5-16.5	0.1	0.25	الباقي	0.5	----	----	----	----	0.5	اعمال الصياغة (قوالب- براغي..... الاجهزة البصرية كاجزاء لآلات التصوير، المجوهرات الكاذبة، هوائي الراديو...

جدول(2-18)

الخواص الفيزيائية لبعض سبائك النحاس- نيكل.

صنف السبيكة	الكثافة g/cm^3	مدى درجات حرارة الانصهار °C	معامل التمدد الحراري $°C^{-1}$	معيار المرونة GPa	التوصيلية الحرارية cal/cm.S.°C	التوصيلية الكهربائية $m/\Omega.mm^2$	المقاومية الكهربائية $\mu\Omega.cm$
Cu90Ni10	8.94	1100-1150	0.000017	140	0.094	5.27	19.1
Cu80Ni20	8.94	1150-1200	0.000016	140	0.086	3.7	26.6
Cu70Ni30	8.94	1170-1240	0.000016	153	0.070	2.66	37.5
Cu67.2Ni30Cr2.8	8.85	1170-1220	0.0000168	153	0.068	2.55	39.5
Cu83Ni16.5Cr0.5	8.94	1122-1176	0.0000158	140	0.082	3.78	26.4
Cu65Ni18Zn17	8.73	1070-1110	0.000016	125	0.086	3.78	28.7

الفصل الثـالث

الصهروالسبـاكة

Melting and Casting

الفصل الثالث

الصهروالسباكة

Melting and Casting

3- 1 المقدمة:

تؤخذ في الاعتبار نسب الشوائب في المعادن المسبوكة على اساس الغرض من استخدامها اي مدى تاثير هذه الشوائب على الخواص المطلوبة، اضافة الى طريقة الاستخلاص والتنقية. وبصورة عامة، فان النقاوة العالية ليست متطلبا رئيسا دائما ولذلك يستخدم النحاس المنقط (Blister copper) والنحاس المنقى بالنار(Fire Refined copper) في معظم التطبيقات الصناعية. وعندما يكون المطلوب هو نحاس ذا نقاوة عالية للاستخدام في التطبيقات الكهربائية والالكترونية فان الخام الملائم عندئذ هي الصفائح الكاثودية (المهبطية) والتي يمكن ان تفي بالغرض اذا ما تمت عمليات الصهر والسباكة تحت ظروف خاصة تحدد من خلالها نسب الاوكسجين والشوائب في المنتوج النهائي.

كما يستخدم النحاس المنقط كقاعدة للسبائك النحاسية باضافة معادن اخرى كعناصر سبك (Alloying elements) كالخارصين والنيكل والالمنيوم والقصدير والحديد والرصاص وغيرها والتي تضاف كمعادن نقية. اما بالنسبة للسليكون والكادميوم والفسفور والمنغنيز فتتم اضافتها كعناصر مسبوكة مع النحاس تسمى السبائك الاساسية (Master Alloys).

اما المصدر الاخر للنحاس المستخدم كمواد اولية للمسابك هو الخردة(scrap) المعادة من عمليات التصنيع مع مراعاة عدم الخلط بين خردة السبائك المختلفة اثناء التعامل بها وذلك بالفحص الدقيق لمحتوى السبيكة وبمختلف التقنيات المتوفرة، اضافة الى التقيد بنسب محدودة من مواد الخردة كمواد اولية نسبة الى الخامات النقية عندالصهر.

3- 2 **الصهر** (Melting)

يمكن الاكتفاء بتوضيح انواع افران الصهر الخاصة بالنحاس وسبائكه. حيث يوجد نوعان اساسيان منها وهما:

3- 2- 1 الافران الحثية الحلقية منخفضة التردد

(Low frequency-induction-loop furnace)

وتتكون من ملف حثي ابتدائي يحدث تيارات حثية في الشحنة المعدنية المراد صهرها. وهذا الملف مبطن بمواد سيراميكية ملائمة ومحمولة على هيكل من الفولاذ والذي يمثل المظهر الخارجي لبوتقة الفرن. تختلف طاقة وسعة هذا النوع من الافران، فعلى سبيل المثال، توجد افران بطاقة نصف طن و واحد طن اواكثر من ذلك.

يختلف عمر بطانة الفرن حسب المعدن الذي يتم صهره فيه فمثلا يبلغ عمر البطانة لفرن ذو سعة 2 طن حوالي 12 شهرا عند صهر البراص في حين يبلغ 30 شهرا عند صهر سبيكة النحاس- نيكل على فرض ثبوت ظروف التشغيل وخبرة العاملين. عند تحضير الشحنة الخاصة بسبيكة معينة يجب ان لاتتجاوز نسبة الخردة المستخدمة عن 70% في احسن الاحوال (احسن انواع الخردة) ومع هذا فان المصانع المتخصصة تستخدم نسب اقل من ذلك بكثير للمنتجات ذات المواصفات الدقيقة. وبعد شحن المواد في الفرن يتم صهرها وفي هذه الاثناء يتم تحليلها كيميائيا للتاكد من صحة نسب عناصر السبيكة المطلوبة. حيث يتم تصحيح النسب ان كان هناك اختلاف ولكن عند تجاوز نسب الشوائب عن الحدود المسموح بها (نسب عالية جدا) فانه غالبا ما يكون من الصعب بل ومن المستعصي ازالتها او خفضها وقد يضطر الى تفريغ الشحنة واعتبارها خردة (سكراب). ان هذا النوع من الافران ملائم للمسابك التي تدخل في خطتهاالانتاجية تصنيع سبائك متعددة وذلك لسهولة التحول من صهر سبيكة معينة الى اخرى، فعلى سبيل المثال، يمكن التحول(وبدون تغيير بطانة الفرن) من النحاس الى سبيكة البراص(كالبراص الثنائي مثل 30-70 او 37-63) ومنها الى سبائك البراص الرصاصي.

الا ان من مساوئها ان تكاليف الطاقة الكهربائية فيها اكبر مما في انواع الافران ذات الوقود غير الكهربائي (الصلب اوالسائل اوالغاز)، اضافة الى ارتفاع تكاليف التبطين.

3- 2- 2 الافران ذات التسخين المباشر(Direct-Heated Furnaces)

أ- الافران العاكسة Reverberatory Furnaces

وهي افران ذات طاقة تصل الى حوالي 8 طن مكونة من الهيكل الخارجي المصنع من الفولاذ والذي يبطن من الداخل بطابوق ناري، ويحتوي على فتحة في وسط احد الاوجه مخصصة للسبك وفي الوجه المقابل فتحة خاصة لازالة الخبث. ويتم شحن الفرن من فتحة في احدى النهايتين، اما النهاية الثانية فيركب فيها مشعل ذو وقود سائل حيث يتم فيه مزج الوقود السائل مع الهواء. كما ويمتاز هذا النوع من الافران بامكانية قلبه لذلك يسمى بالفرن القلاب.

ب-الفرن العمودي(Shaft Furance)

ان مبدا عمل هذا النوع من الافران هو صهر النحاس باستخدام الغازات الحارة من فرن عمودي دون السماح بارتفاع نسبة الاوكسجين في المعدن. وهذا النوع من الافران ذو مقطع دائري يبلغ قطره 1.5m وارتفاعه لايقل عن1 .5m ولا يزيد على 6m ومبطن من الداخل ببطانة ملائمة لنوع السبيكة المزمع انتاجها.

ويمكن ان يشحن هذا النوع من الافران بمختلف انواع واشكال النحاس وحسب متطلبات العمل. حيث يبدا انصهار المعدن من الجزء العلوي تحت تاثير الغازات الساخنة فينتج عن ذلك نزول المنصهر الى قعر الفرن، ويعتمد معدل الانصهار على كمية الحرارة ومقدار الشحنة. فعند صهر النحاس الكاثودي فان المنصهر يحتوي على ما يزيد عن 0.035 % من الاوكسجين و0.001% كبريت. اذ يمكن سكب النحاس او اي سبيكة اخرى على شكل قضبان نحيفة (wire bars) كما هي الحال في السباكة المستمرة، او اية اشكال اخرى.

3- 3 السباكة (Casting)

ان الغاية من عمليات سباكة المسبوكات ذات المقاطع الدائرية او المسطحة (Billets or Cakes) هو سكب المنصهر المعدني في قالب السباكة (Mould) الذي يثبت بصورة عمودية ثم يبرد المعدن حتى يتجمد، مع امكانية التحكم بسرعة السكب والتبريد من اجل الحصول على مسبوكات مقبولة من الناحية الفنية، وجميع التطورات والدراسات في السنوات الماضية كانت متجهة نحو تحسين نوعية المعدن المسبوك، من حيث تواجد العيوب وقلة الشوائب، وزيادة معدل الانتاج عن طريق التغييرات التقنية المختلفة. وفي ما يلي ملخص لطرائق السباكة:

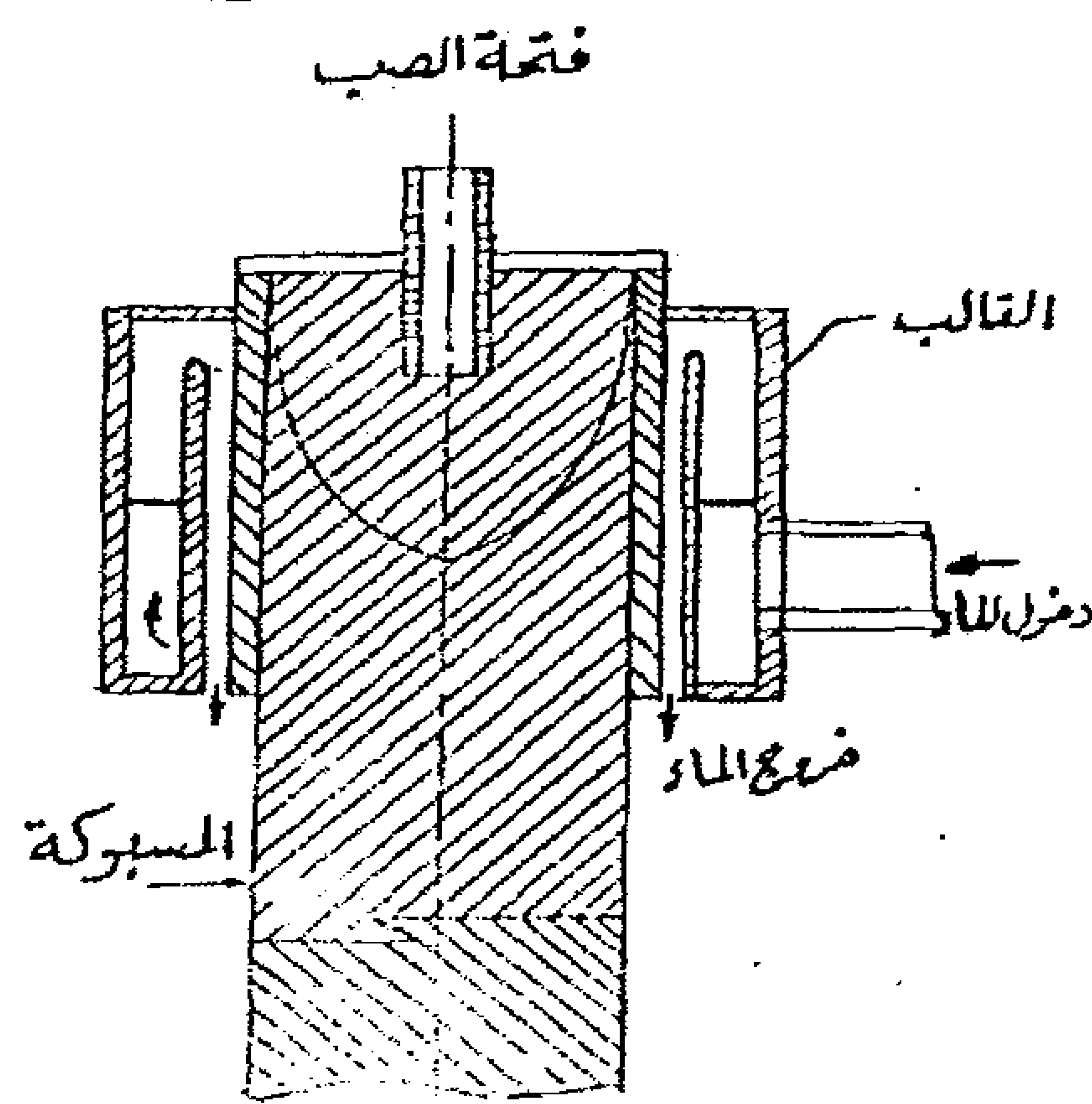
3- 3- 1 السباكة الثابتة(Static Casting)

استخدمت وبصورة ضيقة قوالب السباكة الثابتة المصنعة من حديد الزهر (Cast Iron Moulds) في عمليات سباكة المسبوكات النحاسية. تغلق النهايات السفلى لهذه القوالب بمغالق من حديد الزهرايضا. وفي هذه الطريقة تكون لمهارة عامل المسبك الاثر الكبير في جودة المسبوكات من خلال اجراء الفحص الخاص بالقالب قبل البدء بعملية السباكة وتزييته بطريقة خاصة وذلك باستخدام زيت سائل تضاف اليه مواد صلبة. لهذا النوع من السباكة بعض المساوىء اهمها هي ان طول المسبوكة محدود حيث يصل الى حوالي1.5m، وانتاجيتها منخفضة وذلك بسبب ضرورة قطع نهايتي المسبوكة الحاوية على العيوب. ان حدوث هذه العيوب في الطرائق الاخرى اقل احتمالا.

3- 3- 2 السباكة شبه المستمرة(Semi-Continuous Casting)

يعتبر هذا النوع من السباكة هو الافضل حاليا في انتاج المسبوكات حيث يتم تبريد المعدن الخارج من القالب (Mould) بالماء مباشرة، ويمتاز القالب بقصر طوله حيث يتراوح بين 125-455mm، اما طول المسبوكة فيتراوح بين 6m -3 او اكثر، ويتكون التركيب الخاص بالسكب من عمودين او ثلاثة حيث يتم تركيب بطانة القالب المصنعة من النحاس بهيكل يتكون من مجموعة تراكيب مخصصة لتنظيم عملية القالب والمعدن المسبوك.

تؤثر في عملية السباكة بصورة عامة مجموعة من العوامل اهمها حرارة المعدن المنصهر ومعدل التبريد (جريان ماء التبريد)، وسرعة السكب وسرعة التبريد والحركة الاهتزازية لقالب السكب. يمثل الشكل (3-1 أ وب) رسم تخطيطي لكيفية توزيع معدات هذا النوع من المسابك اضافة لمخطط قالب السباكة بالطريقة شبه المستمرة العمودية.



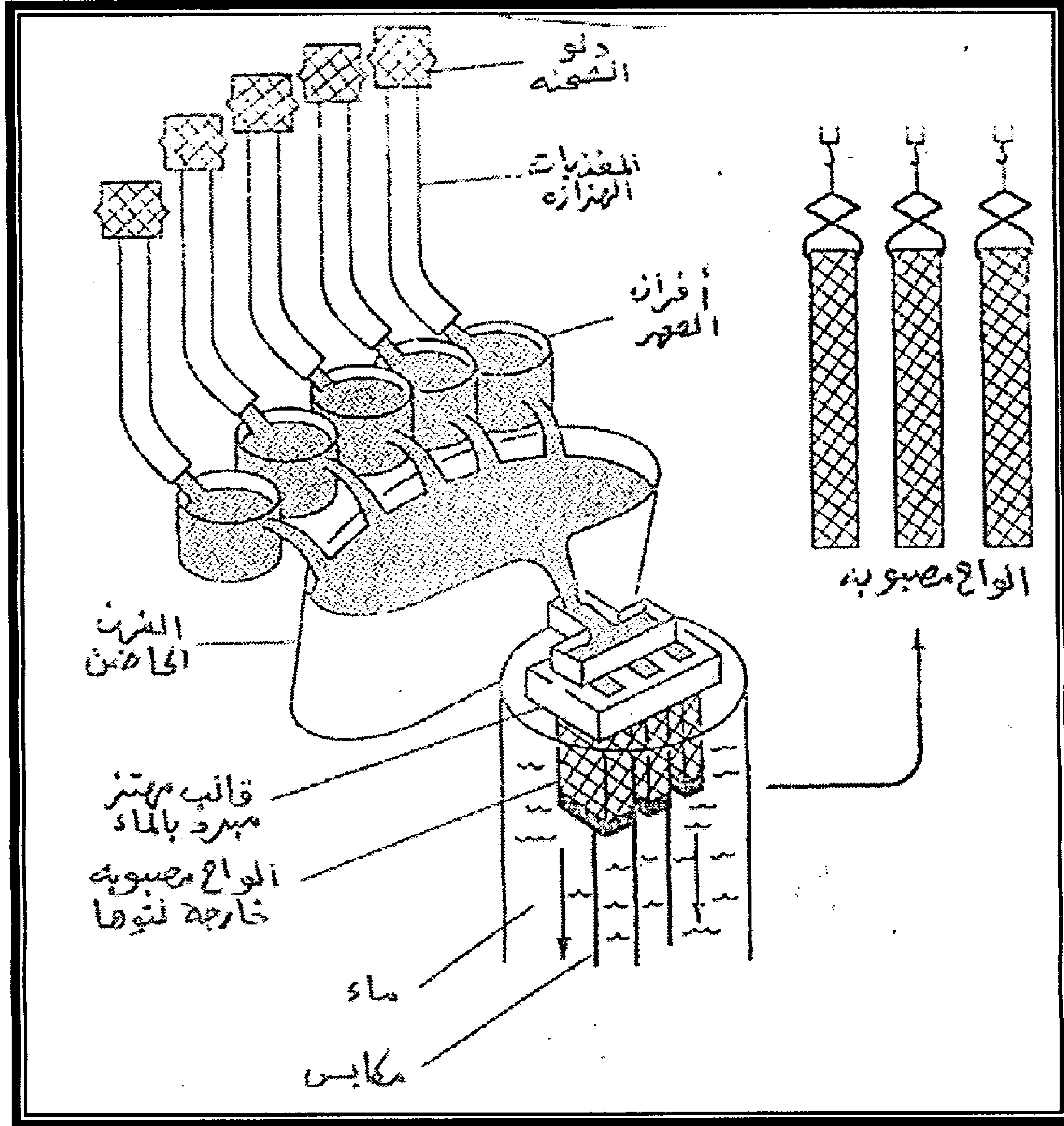
الشكل (3-1أ)

مخطط لمعدات وقالب السباكة بالطريقة شبه المستمرة العمودية.

3- 3- 3 السباكة المستمرة Continuous Casting

في هذا النوع من السباكة يتم صب المعدن في قالب سباكة متذبذب (هزاز) محكم التركيب(Precise Constructed Vibrating Casting Mould) مبرد بالماء وتحدد ابعاده الداخلية ابعاد وشكل المنتج المسبوك. اذ يتم مسك النهاية المتجمدة ويسحب بعيدا عن

القالب ويمرر خلال اسطوانات موجهة لايصاله الى مرحلة التقطيع بالاطوال المطلوبة. وهناك طريقتان للسباكة المستمرة، هما السباكة المستمرة العمودية والسباكة المستمرة الافقية. والطريقة السائدة في انتاج المعادن اللاحديدية هي الطريقة الافقية في حين ينتج الفولاذ بالطريقة العمودية.

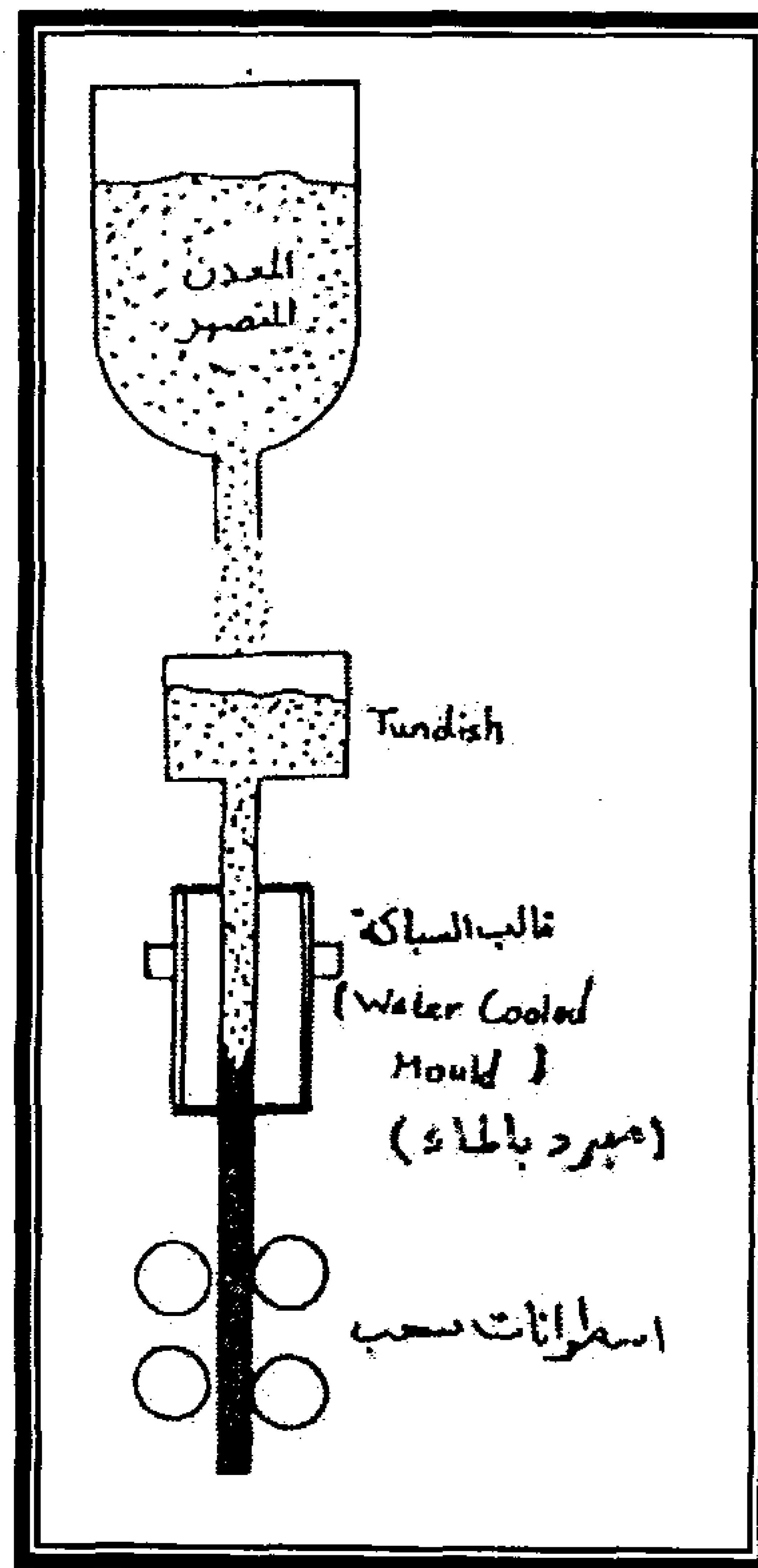


الشكل (3-1ب)

مخطط توضيحي يبين كامل عملية صب الالواح بالطريقة شبه المستمرة العمودية.

ا- السباكة المستمرة العمودية (Vertical Continuous Casting Method)

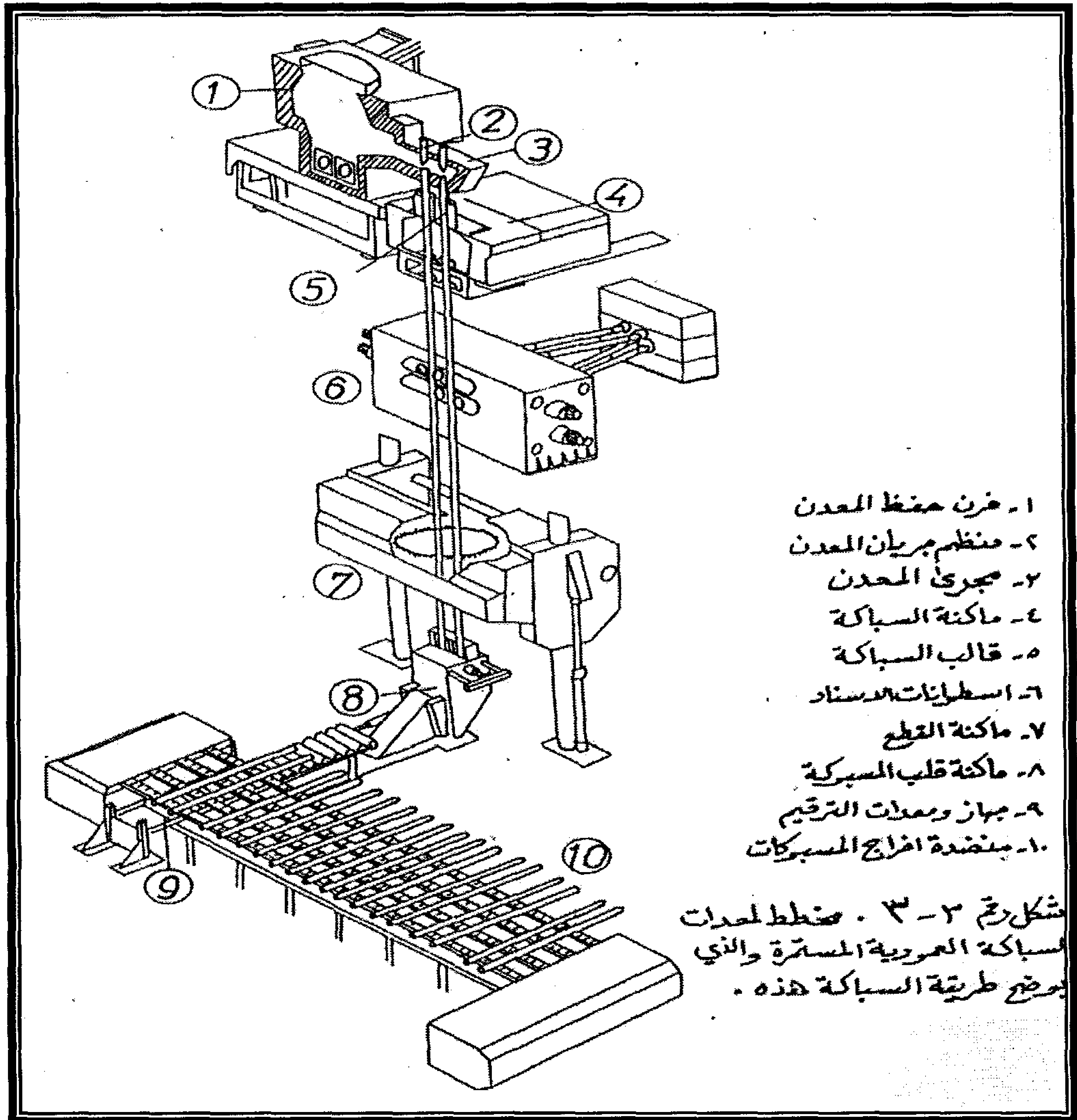
يبين الشكل(3-2) مخطط لعملية سكب(صب)المعدن بهـذه الطريقـة ويـتم تفريـغ المعدن المنصهرمن الفرن (البوتقة) لينقل منها الى وعاء مبطن حافظ (Tundish)، والـذي قد يحتوي على عدد من المصبات، ثم يسكب المعدن منه الى القالـب الخـاص الـذي يـبرد بوساطة تيار من الماء اللازم لتبريده بصورة مناسبة مع المعدن المسكوب فيه. وبعد عمليـة السكب وتجمد بداية المعدن الخارج يتم سحبه من اسفل القالـب في حـين تـستمر عمليـة السكب وتحريك القالب لمنع التصاق المعدن به ويبين الشكل(3-3) مخطط كامـل لمعـدات عملية السباكة العمودية المستمرة.



شكل رقم (3-2)

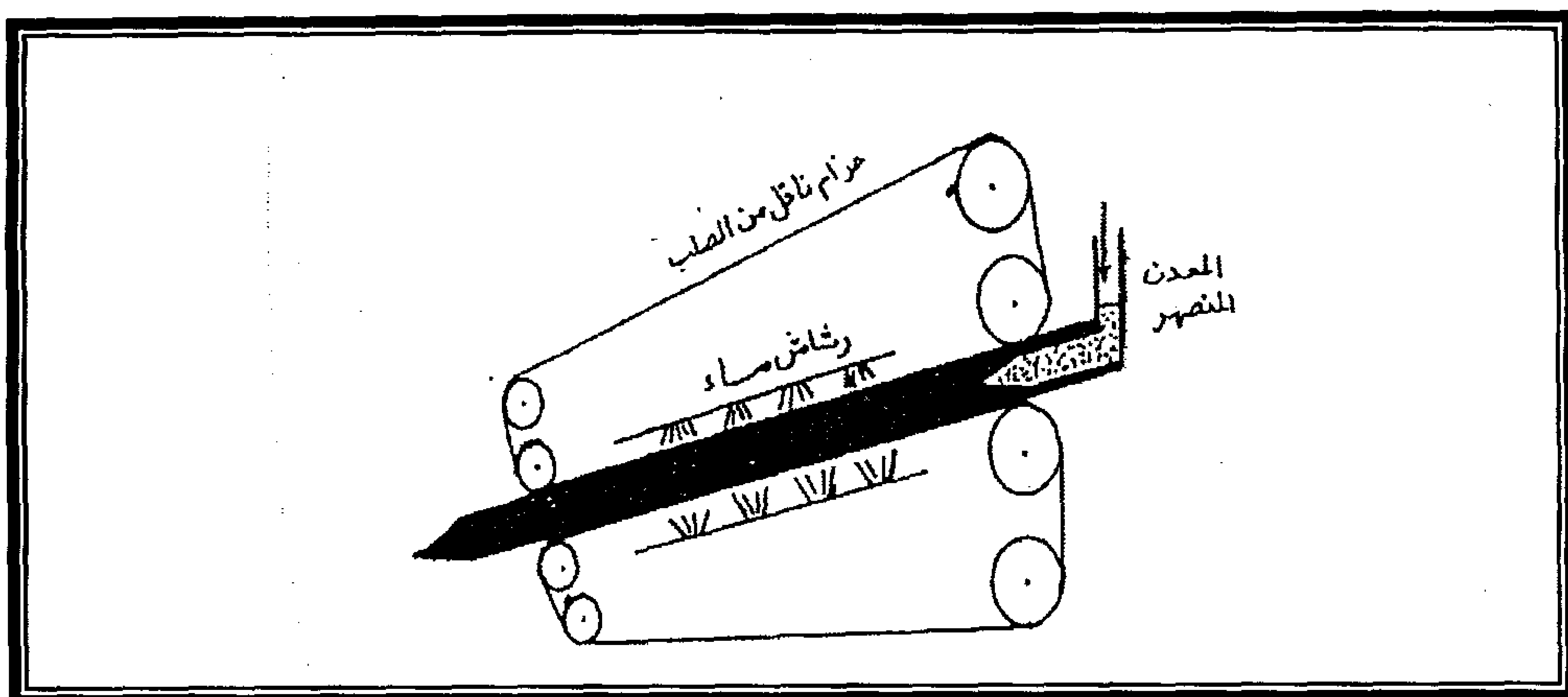
طريقة السباكة المستمرة العمودية.

وتنظم سرعة سحب المعدن المتجمد الخارج من القالب بالتوافق مع سرعة سكب المعدن بحيث يبقى مستوى المعدن في الوعاء المبطن الحافظ ثابتا. وتستخدم زيوت نباتية خاصة لتزييت القالب والمعدن المسبوك. يبقى قلب (مركز) المعدن المسبوك غيركامل التجمد والى مسافة محددة بعد القالب. ولذلك يتم تسليط رشاش من الماء على المعدن الكائن بين القالب واسطوانات السحب لتبديد الحرارة داخل المسبوكة.



شكل رقم ٣-٣ . مخطط لمعدات السباكة العمودية المستمرة والذي يوضح طريقة السباكة هذه .

وتستخدم مكائن خاصة لسباكة الصفائح تسمى هازليت (Hazlet) موضحة في الشكل التخطيطي (3-4). وتتكون الماكنة من حزامين من الفولاذ مائلين بزاوية معينة ويتحركان بصورة متوافقة بحيث يسكب المعدن المنصهر بينهما في اعلى نقطة، وتتقدم الصفيحة المتجمدة من الجانب الاخر.

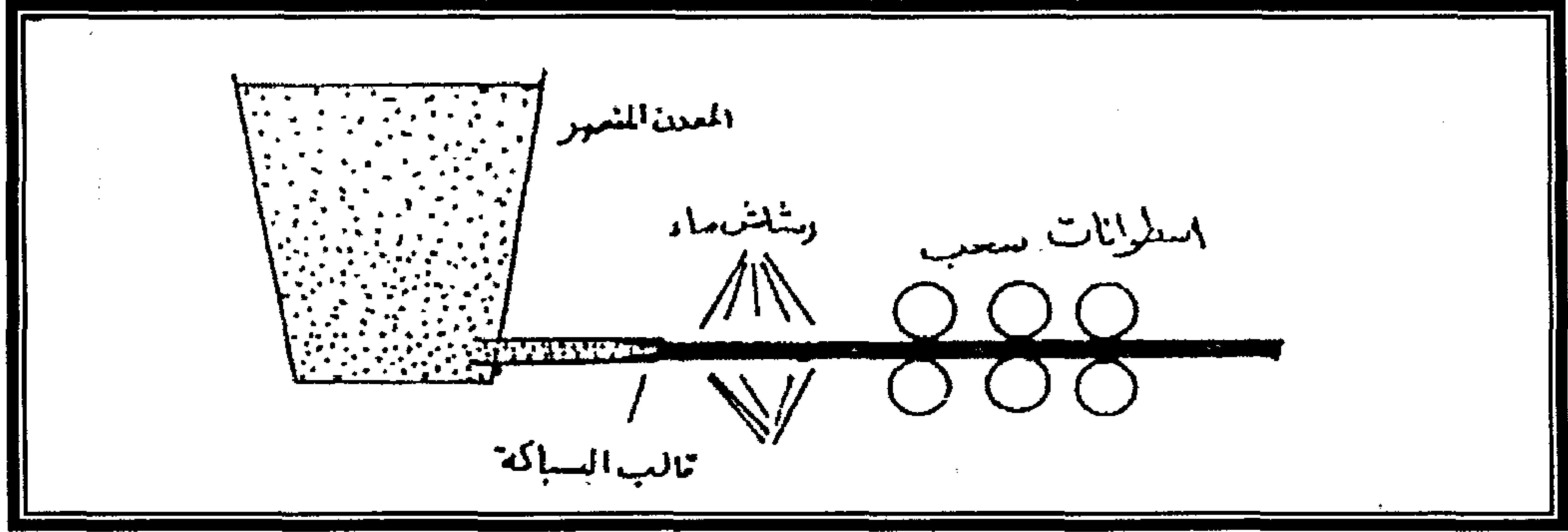


شكل(3-4)

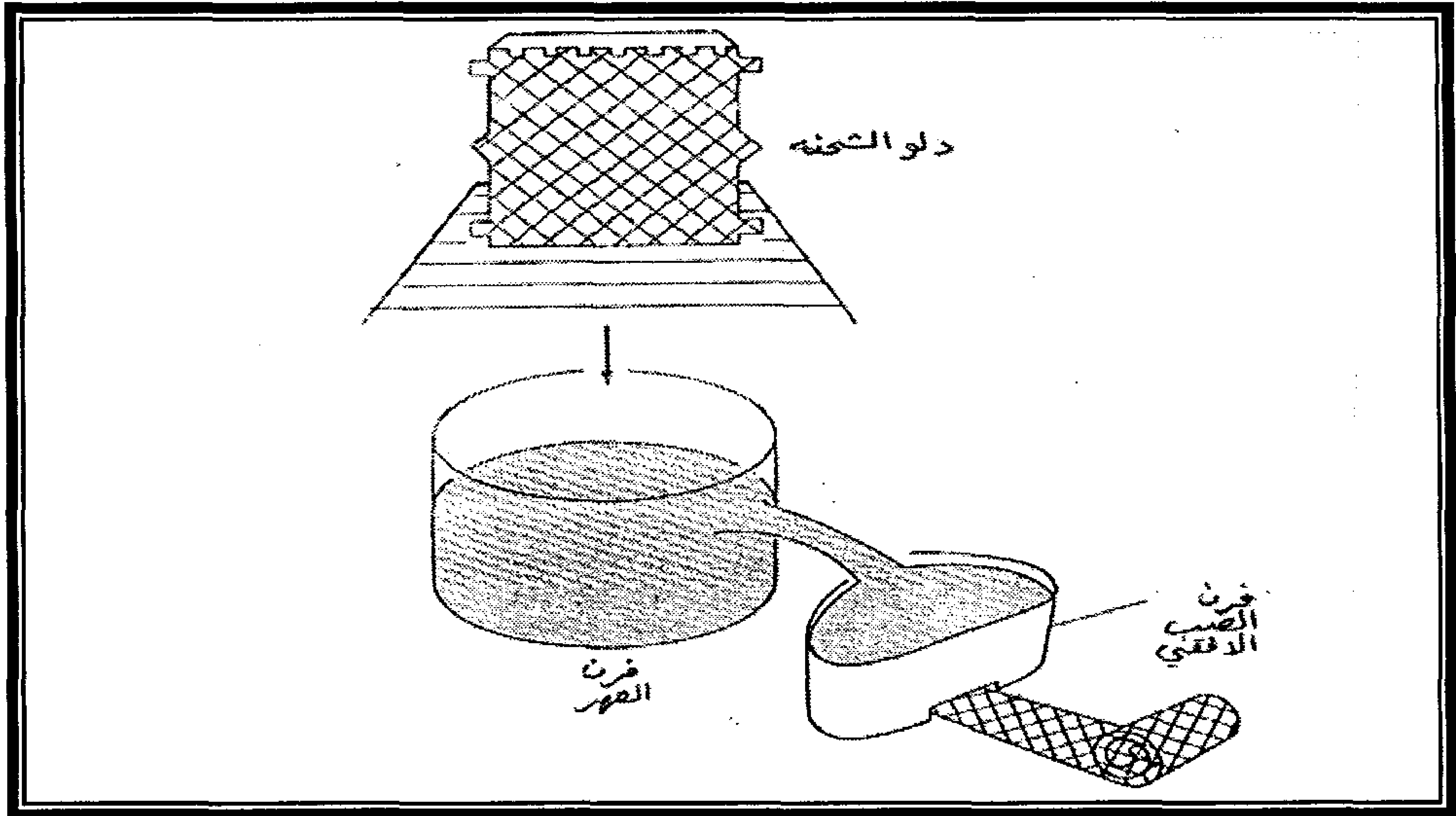
طريقة السباكة المستمرة (الهازليت)

ب- السباكة المستمرة الافقية (Horizontal Continuous Casting)

تمتاز المعدات اللازمة لهذه الطريقة من السباكة بكونها اصغر حجما بكثير من سابقاتها من طرائق السباكة وذلك لكون الهياكل الفولاذية اللازمة في الطريقة الاولى كبيرة الا انها ليست ضرورية في هذه الطريقة. لهذا تكون تكاليف الانتاج تبعا لذلك اقل وعملية تبريد المعدن اسهل ولا حاجة لثني المعدن الى الوضع الافقي لتقطيعه كما هو الحال في الطريقة الاولى لكونه في وضع افقي اساسا. ومن الممكن اجراء عمليات الصهر والسباكة اللازمة للنحاس وسبائكه وبصورة اقتصادية باستخدام وحدة واحدة متكاملة لهذا الغرض مع امكانية توفير ظروف خاصة للسباكة كاجراء عملية السباكة في جو واق. وبذلك يتم توفير بعض الخسائر الناتجة عن عملية نقل المعدن المنصهر من وحدة الى اخرى والشكل التخطيطي (3-5 أ و ب) يوضح ذلك.



الشكل (3-5 أ)
طريقة السباكة المستمرة الافقية.



الشكل(3-5ب)
مخطط توضيحي كامل لعملية السباكة المستمرة الافقية ولف الشريط المنتج، والمنتج المصبوب يلف مباشرة بدون الحاجة الى الدرفلة الحارة.

3- 3- 4 مزايا السباكة المستمرة ومساوئها:-

ا- مزايا السباكة المستمرة

1- كلفة الانتاج اقل من باقي الطرائق الاخرى، حيث يمكن الغاء عملية تصنيع المسبوكات واعادة تسخينها للتهيئة لعملية التشكيل الحار

2- عدد الايدي العاملة اللازمة لانتاج الطن الواحد اقل، اضافة الى اختصار مساحة العمل اللازمة.

3- الانتاجية فيها أكبر من باقي الطرائق لكون نسبة الخردة (السكراب) الراجعة اقل.

4- يمكن تصنيع اشكال صغيرة وبمقاطع مختلفة.

5- السبائك التي يصعب تشكيلها يمكن ان تسبك الى منتجات قريبة من الابعاد المطلوبة.

ب- مساؤىء السباكة المستمرة

1- معدل المقاس الحبيبي (البلوري) للمعدن المسبوك بهذه الطريقة يكون كبير نسبيا ولذلك يتطلب معاملات خاصة لتحقيق المواصفات المطلوبة، أو اضافة قليل من معدن اوسبيكة لزيادة مقدار التنوية (nucleation) ومن ثم تصغير مقاس البلورات (grains).

2- يجب السيطرة على العملية بصورة دقيقة.

3- اي توقف عن العمل قد يسبب عطل المعدات ومن ثم قد يسبب تراكم خطير للمعدن المنصهر.

الفصل الرابع

البثق والسحب

Extrusion and Drawing

الفصل الرابع

البثق والسحب

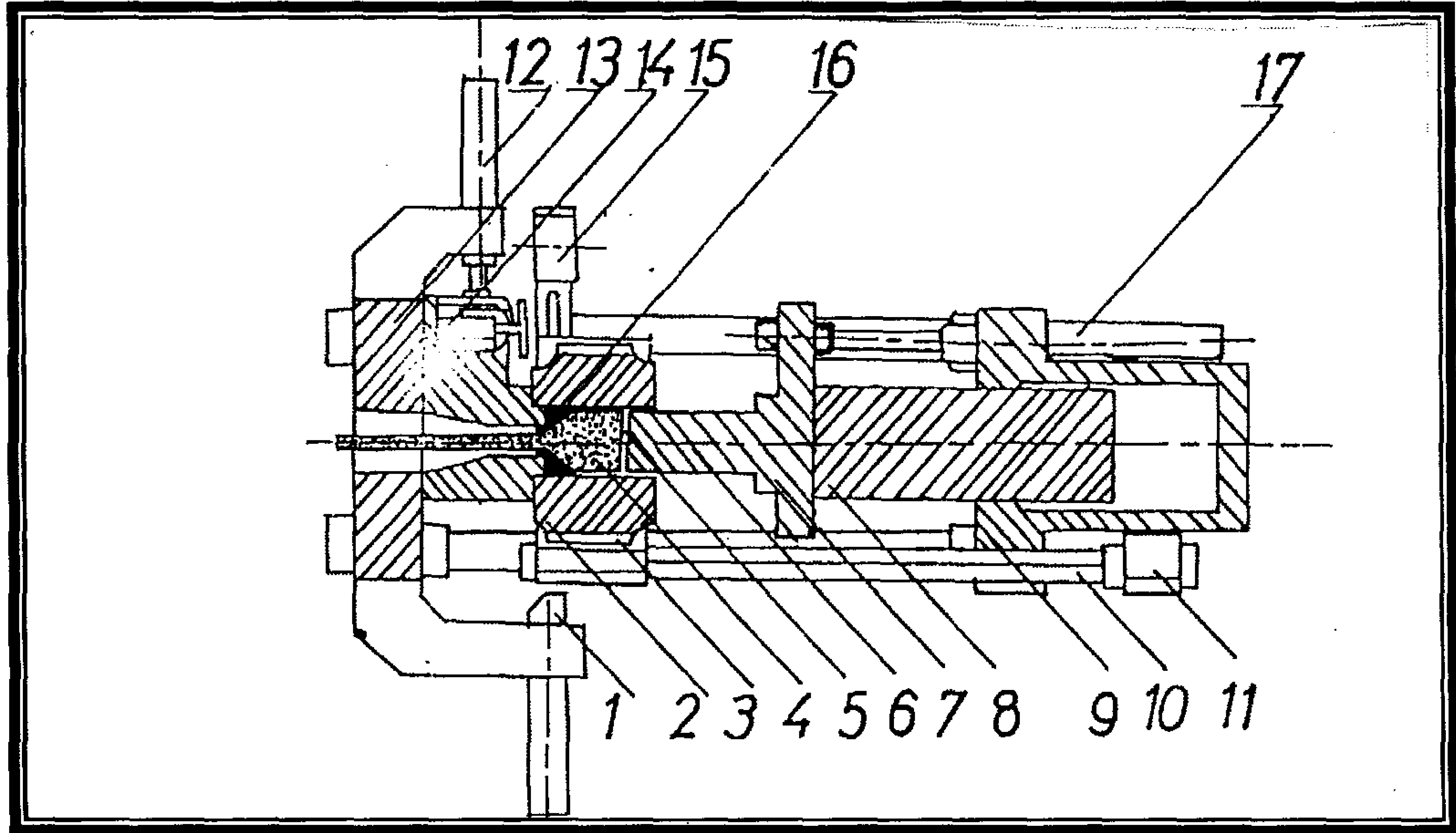
Extrusion and Drawing

يمكن استخدام مكابس البثق ومكائن السحب في تصنيع الاشكال المختلفة من المنتجات المصنعة من النحاس وسبائكه. سيتم شرح عمليات البثق والسحب والمكائن المستخدمة والطرائق المختلفة لعمليات التصنيع والتقنيات المستخدمة في صناعة النحاس وسبائكه.

4- 1 البثق (Extrusion)

4- 1- 1 البثق الهيدروستاتي Hydrostatic Extrusion

كانت مكابس البثق الهيدروستاتية محصورة في استخدامها بعمليات البثق البارد. ولكن بعد التطورات التقنية التي حصلت في السنوات الاخيرة، فقد تم ادخال مكابس البثق الهيدروستاتية في عمليات البثق الحار وذلك باجراء بعض التغييرات التصميمية على طريقة عملها ونوعية الوسط المائع المستخدم. يبين الشكل (4-1) الاجزاء الرئيسة لهذا النوع من المكابس.



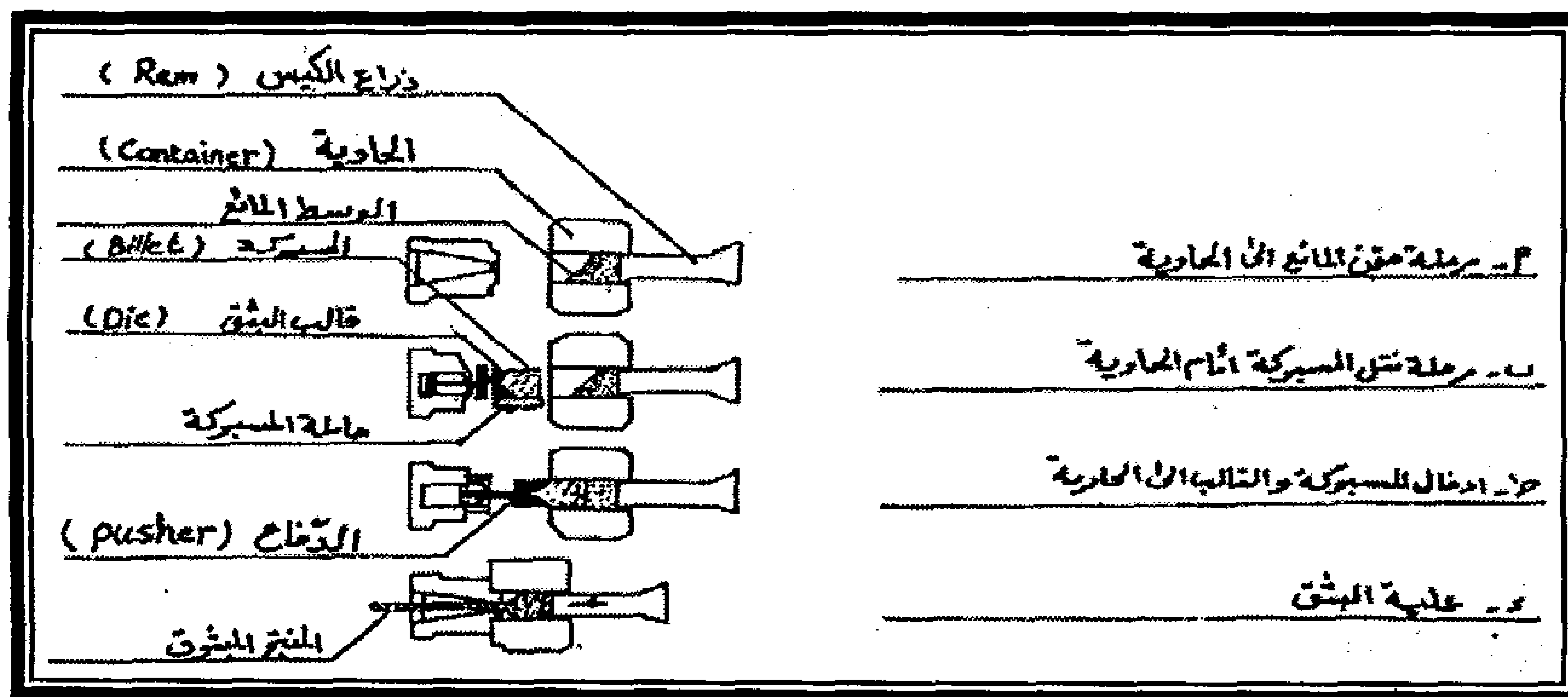
شكل (4-1)

مكبس البثق الهيدروستاتي

1. اسطوانة القص shear cylinder
2. حاوية container
3. حامل الحاوية container holder
4. المسبوكة billet
5. وسط الضغط Pressure medium
6. ذراع الكبس ram
7. رأس المكبس cross head
8. الاسطوانة الرئيسية main cylinder
9. هيكل الاسطوانة الرئيسية.
10. عمود column
11. موقف الحاوية container stopper

12. اسطوانة تبديل موقع اسطوانة الدفّاع
13. مقدمة المكبس press platen
14. اسطوانة الدفّاع pusher cylinder
15. جهاز شحن الوسط المائع.
16. القالب die
17. الاسطوانة الجانبية lateral cylinder

ويبين الشكل (4-2) فكرة عمل هذا النوع من المكابس حيث يتم نقل قوة دفع المكبس من ذراع الكبس(Ram) الى المعدن المراد بثقه عن طريق وسط مائع، ويستخدم لهذا الغرض شحم الكرافيت(Graphite grease) او زيت حيواني مضافا اليه مادة اخرى، على سبيل المثال% 10 من كبريتات المولوبدنوم. كما يوضح الشكل ايضا تسلسل العمليات اذ يحقن المائع المستخدم داخل الحاوية ويتم المحافظة على كون مقدمة المائع اقل سيولة من بقية الكمية وذلك لمنع خروجه من الحاوية، ثم يتم ادخال المسبوكة والقالب وتوضع امام الحاوية ويتولى الدافع(Pusher) ادخالها الى الحاوية. ونتيجة لارتفاع درجة حرارة المائع بسبب ملامسة المسبوكة له، تزيد سيولته وتقل لزوجته، حيث يمنع خروجه وجود سداد محكم (Seal) خاص. وعند ذلك تتقدم الحاوية وما فيها وتصبح في وضع محكم مع الساند (Bolster). وبذلك تبدأ عملية البثق بتقدم المكبس.



شكل (4-2)

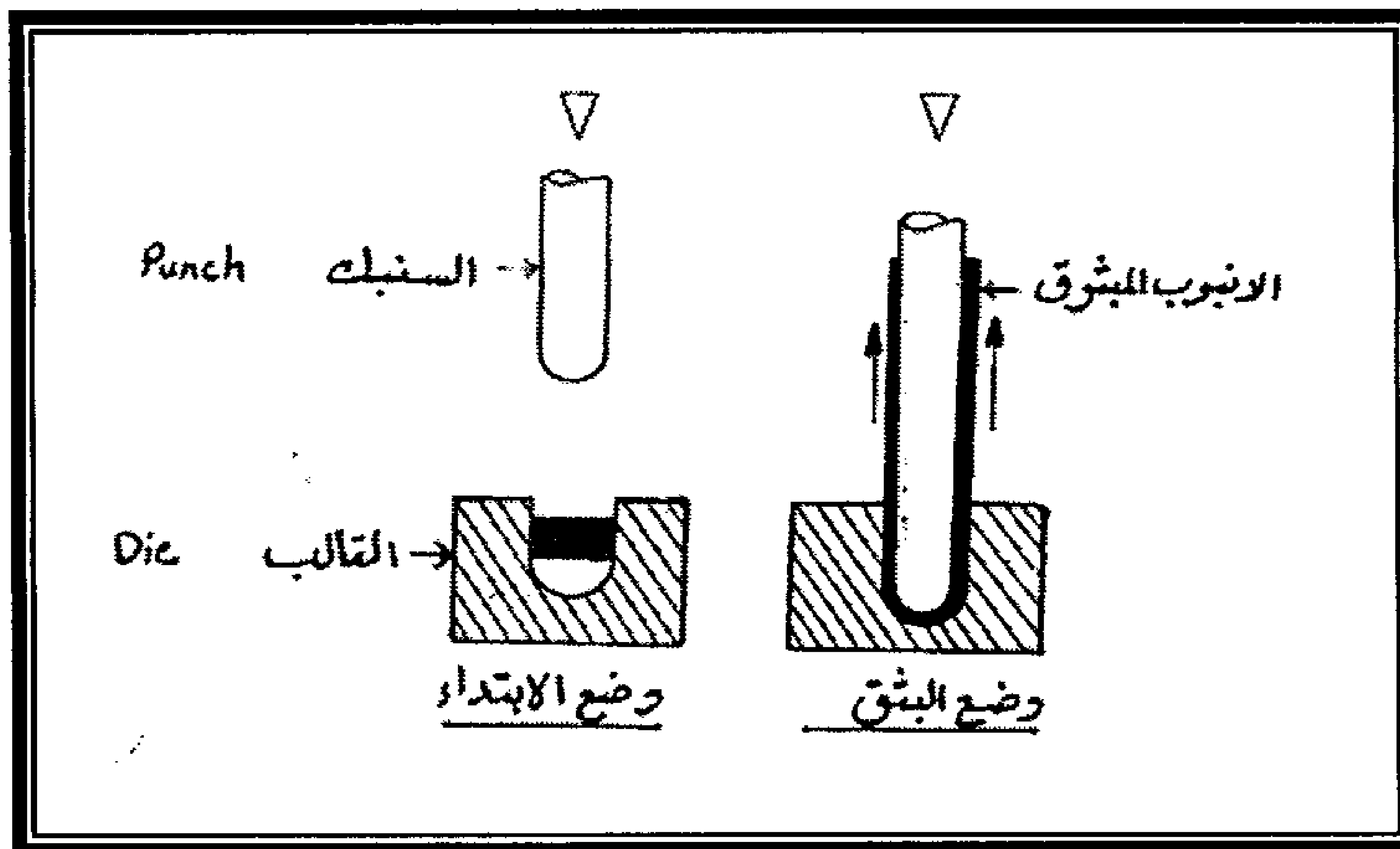
يوضح عملية البثق الهيدروستاتي.

مزايا البثق الهيدروستاتي:

1- الفقدان الحراري من المسبوكة قليل وينتج عنه تجانس حراري جيد مما يضمن تجانس خواص المنتج المبثوق.
2- يمكن الحصول على بنية مجهرية ذات بلورات ناعمة وعلى مدى طوله، اضافة الى تحقيق سماحات دقيقة للمنتج.
3- يحقق الزيت المستخدم تزييتا بمستوى جيد في عملية تزييت القالب مما يؤدي الى نوعية سطح جيدة للمنتج.
4- يمكن ان يستخدم هذا النوع من البثق لانتاج القضبان والاسلاك وكافة المنتوجات ذات المقاطع المختلفة.

4- 1- 2 البثق الصدمي (Impact Extrusion)

وهي عملية تشكيل على البارد، الشكل(4-3)، حيث تتكون العدد المستخدمة من جزئين هما السنبك (Punch) والقالب (Die) حيث يتم اسقاط الاول بقوة وبصورة متمركزة على قرص من المعدن المراد بثقه والذي يوضع داخل القالب حيث ينتج عن ذلك الانبوب المطلوب.

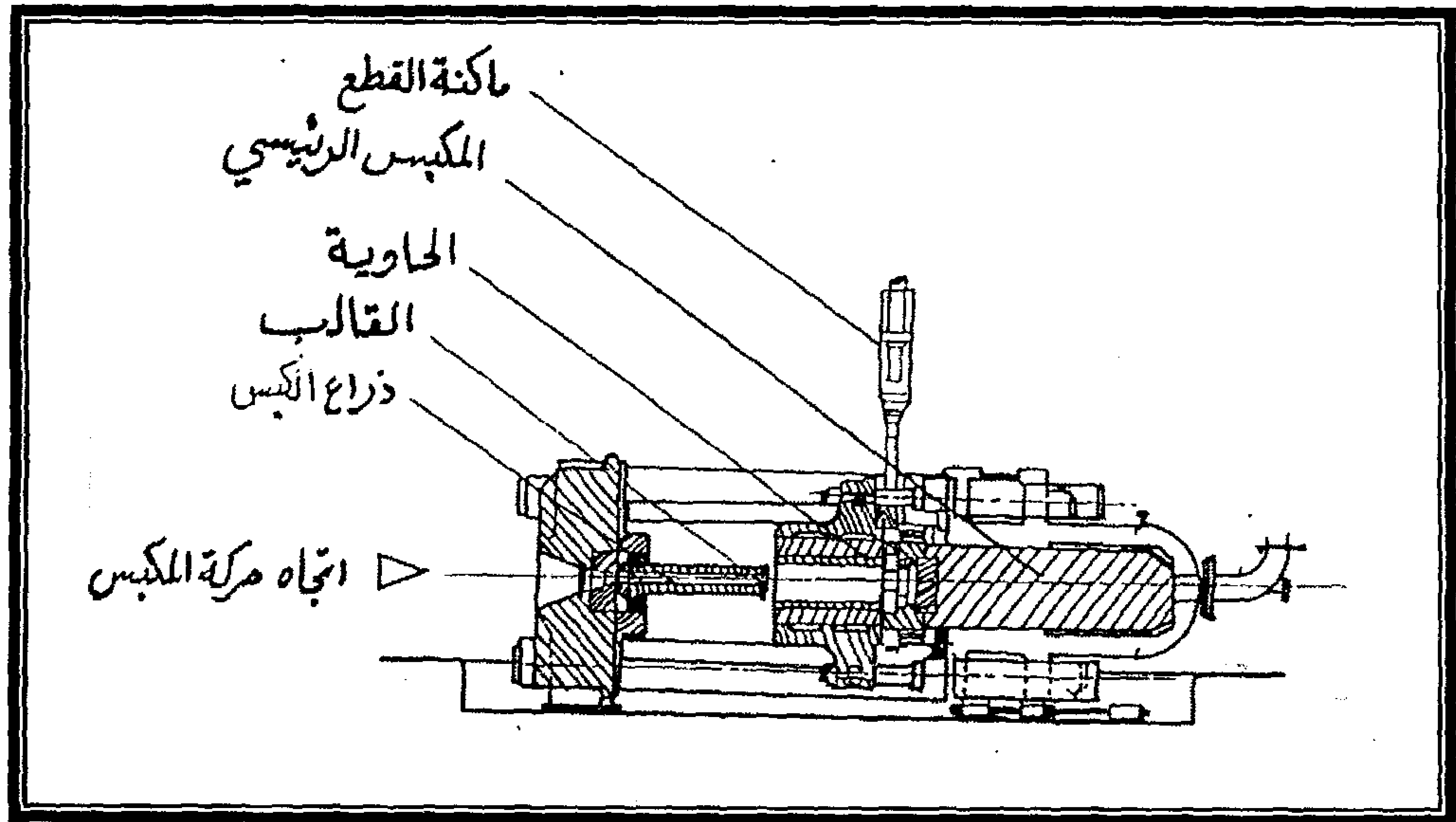


شكل(4-3)

عملية البثق الصدمي والعدد المستخدمة.

4- 1- 3 البثق العكسي (غير المباشر)(Indirect Extrusion)

يتلخص هذا النوع من البثق في ان القالب مركب على راس ذراع الكبس(Ram) فيضغط القالب على المعدن المراد بثقه مما يؤدي الى خروجه عكس اتجاه الحركة ولذلك يشترط ان يكون الكابس مجوف ليسمح بخروج المعدن المبثوق. وتكون الحاوية في هذا النوع ثابتة ومغلقة من احدى نهايتيها فلا توجد حركة نسبية بين المسبوكة والحاوية مما يجعل القوة اللازمة لعملية البثق اقل مما هي عليه في طريقة البثق المباشر. ومن محاسنه هو ان اسلوب جريان المعدن (Flow Pattern) جيد ولا يوجد فيه عيب النهايات (Backend defect). اما اهم مساوئها هو ان المكبس الخاص بهذا النوع اكثر تعقيدا بسبب نوع الكابس اضافة الى امور فنية اخرى. ويبين الشكل (4-4) مخططا للاجزاء الرئيسة لمكبس بثق من هذا النوع.

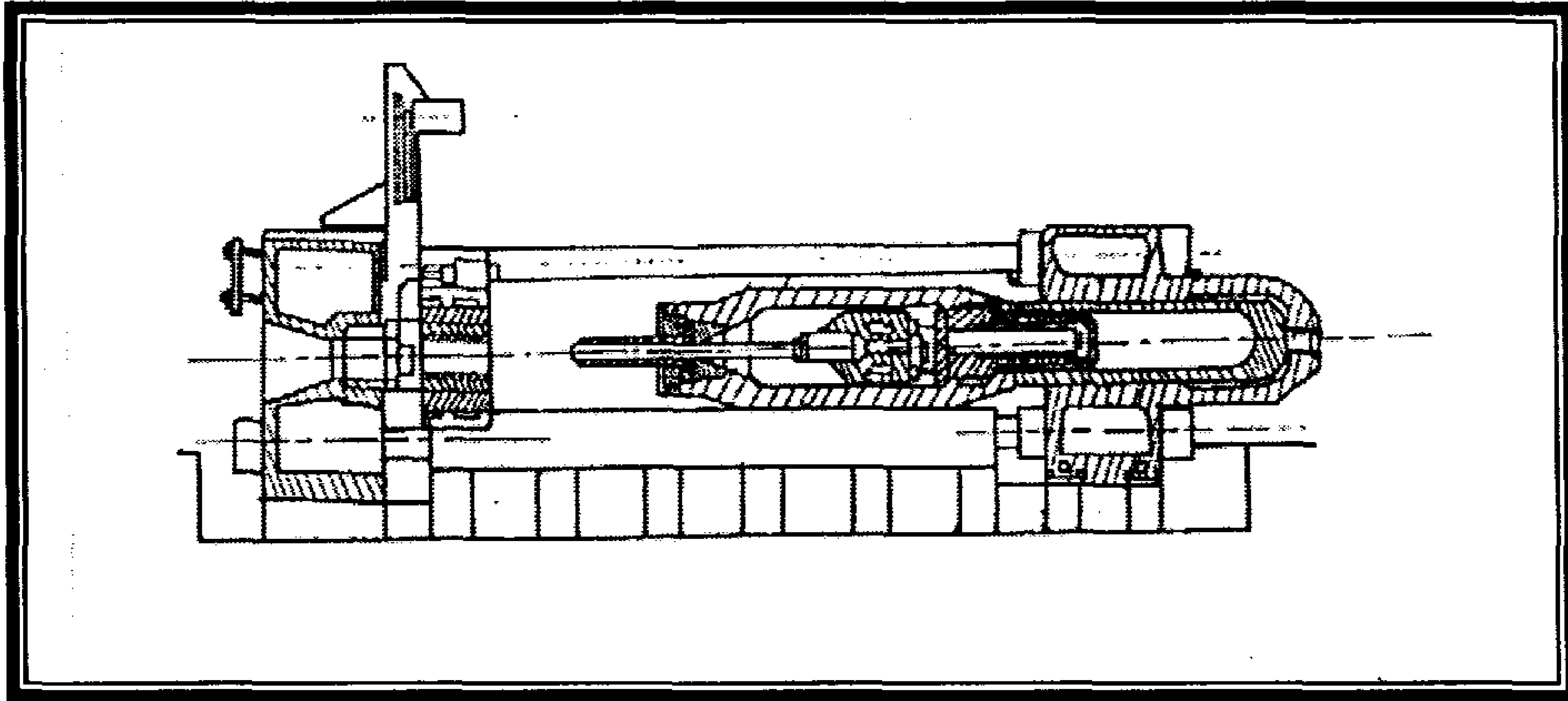


شكل (4-4)

مكبس البثق العكسي (غير المباشر).

4- 1- 4 البثق المباشر(Direct Extrusion)

يتم في هذا النوع تسخين المسبوكة الى درجة الحرارة الملائمة و ادخالها في الحاوية ومن ثم تجرى عملية ضغط المعدن تحت قوة دفع الكابس، حيث يجبر المعدن على الخروج من فتحة القالب، لياخذ المعدن المبثوق الشكل والمقطع الداخلي للقالب وقياساته. يكون خروج المعدن باتجاه حركة المكبس. وبسبب الاحتكاك الناشيء بين المسبوكة وجدار الحاوية يكون جريان المعدن قرب جدار الحاوية بسرعة تختلف عن سرعة جريان قلب (مركز) المسبوكة. وتختلف هذه الظاهرة من معدن الى اخر اضافة الى درجة حرارته.ويبين الشكلان (4-5) و (4-6) الاجزاء الرئيسة لمكبس بثق مباشر(Direct Extrusion Press) لإنتاج القضبان والمقاطع والانابيب.



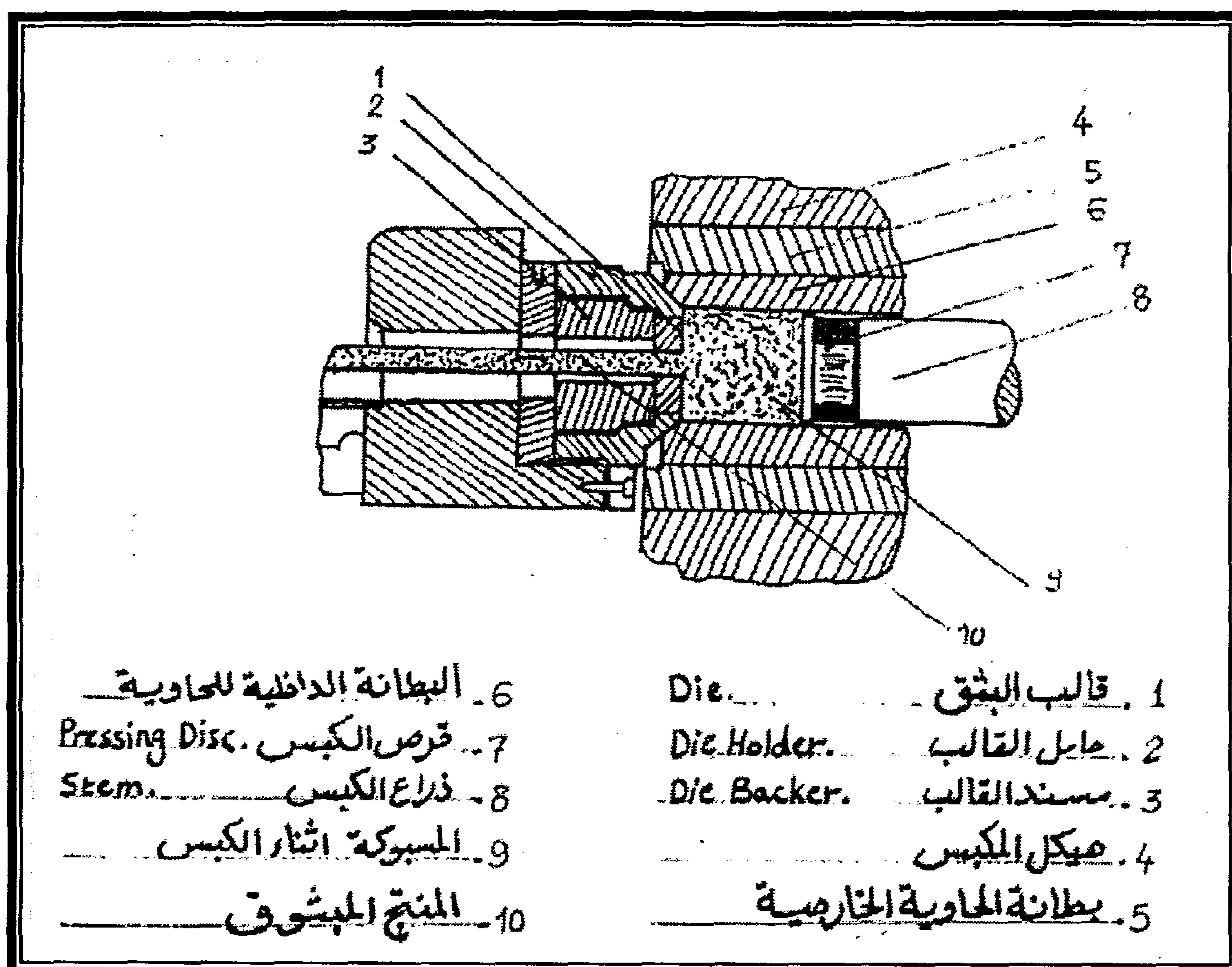
الشكل(4-5)

مكبس البثق المباشر للقضبان والمقاطع والانابيب.

يوضح الشكل(4-6) عملية البثق المباشر للقضبان ويبين العدد المستخدمة لذلك.

الشكل (4-6)

عملية البثق المباشر للقضبان والعدد المستخدمة فيها.

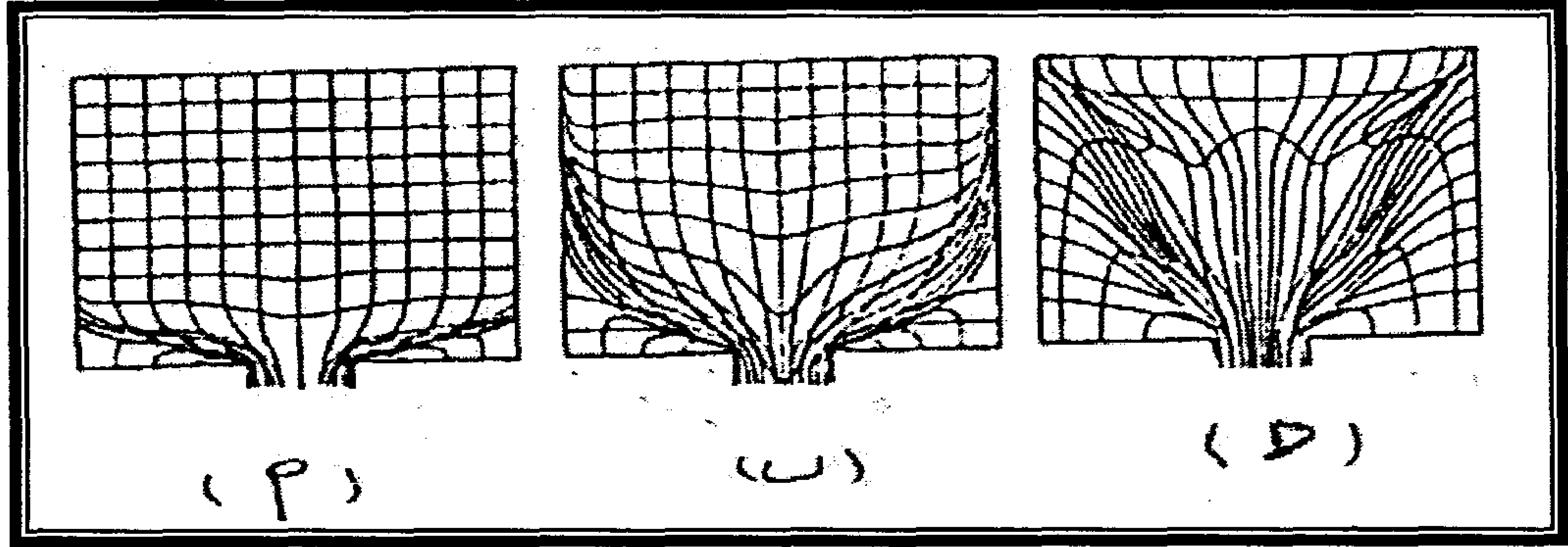


4- 2 العوامل المؤثرة في عملية البثق المباشر:

تقسم اساليب جريان المعدن اثناء البثق المباشر للنحاس وسبائكه الى ثلاثة اساليب، كما في الشكل(4-7)، (Paterns of F low) وهي أ و ب و ج.

شكل (4-7)

طرائق جريان النحاس و سبائكه اثناء عملية البثق المباشر.



اما العوامل التي تؤثرعلى خواص المعدن المبثوق فيمكن تمثيلها في مجموعتين هما ظروف المعدن قبل البثق وظروف عملية البثق.

4- 2- 1 ظروف المعدن قبل البثق ويدخل في ذلك ما ياتي:

1- نوع السبيكة من حيث خواصها الميكانيكية وتكوينها الكيميائي والشوائب الاخرى. حيث ان اي اختلاف في التحليل الكيميائي ينتج عنه خواص مختلفة، ويدخل في الخواص الميتالورجية تاثير بنية المعدن والاطوار المتواجدة فيها.

2- الطاقة الداخلية للمعدن وهي في الاساس طاقة الانخلاعات (Dislocation Energy).

4- 2- 2 ظروف عملية البثق، وتتلخص بالعوامل الرئيسة الاتية:

1- نسبة البثق (E.R.) (Extrusion Ratio)

وهي عبارة عن نسبة مساحة مقطع الحاوية الى مساحة مقطع المعدن المبثوق اي

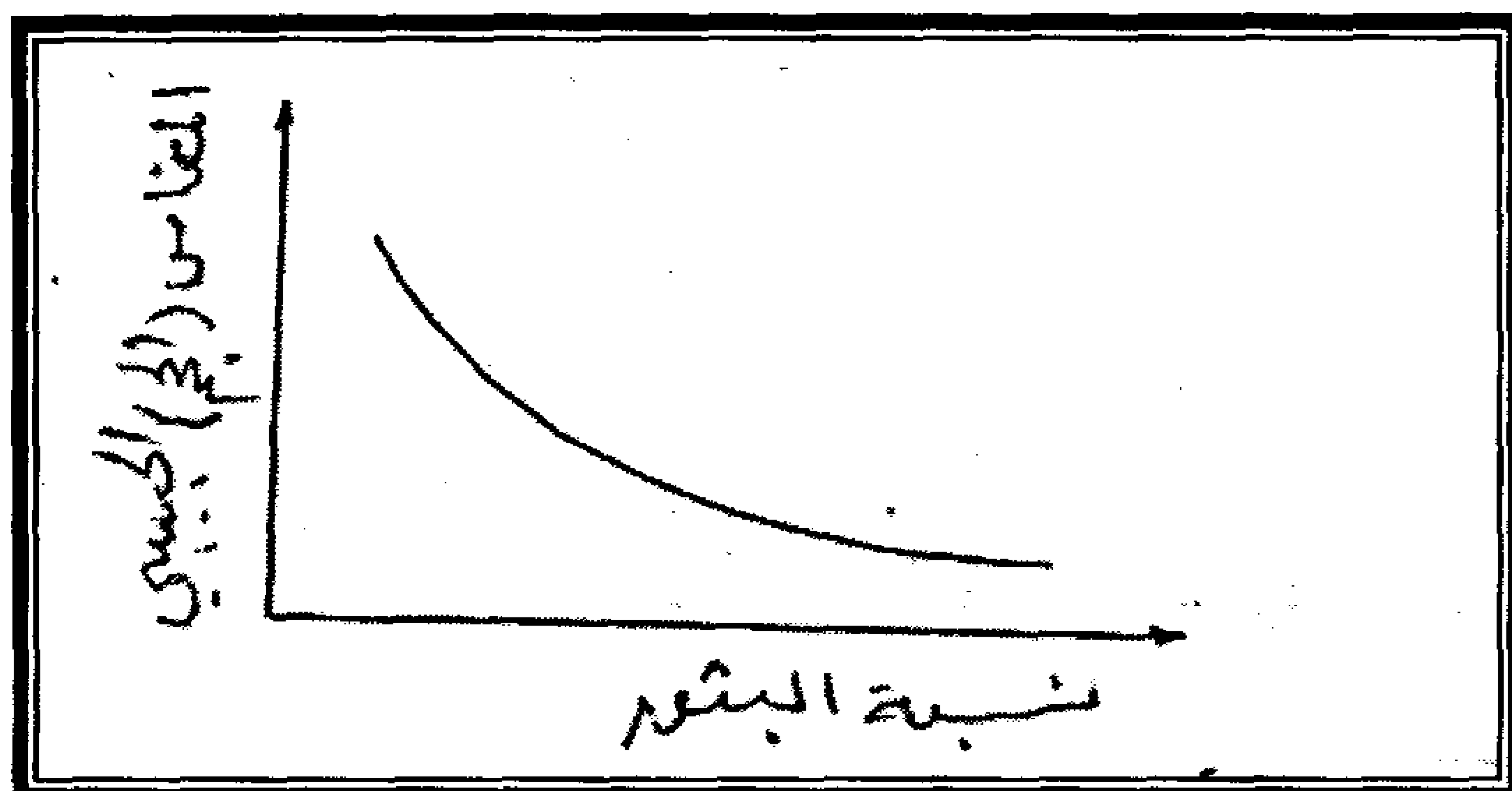
$$E.R. = A / a$$

حيث ان

A= مساحة مقطع الحاوية

a = مساحة مقطع المعدن المبثوق

ويبين الرسم البياني (الشكل4-8) مدى تاثير هذه النسبة على المقاس (الحجم)البلوري الناتج للمعدن المبثوق. وشكل هذا المنحني ماخوذ من تجارب عملية اجريت على سبيكة براص – الفا (30-70) وعلى النحاس النقي. ومن ذلك يتضح انه كلما زادت نسبة البثق كان المقاس(الحجم) البلوري اصغر وبالتالي يؤثر ذلك على خواص المعدن المبثوق.

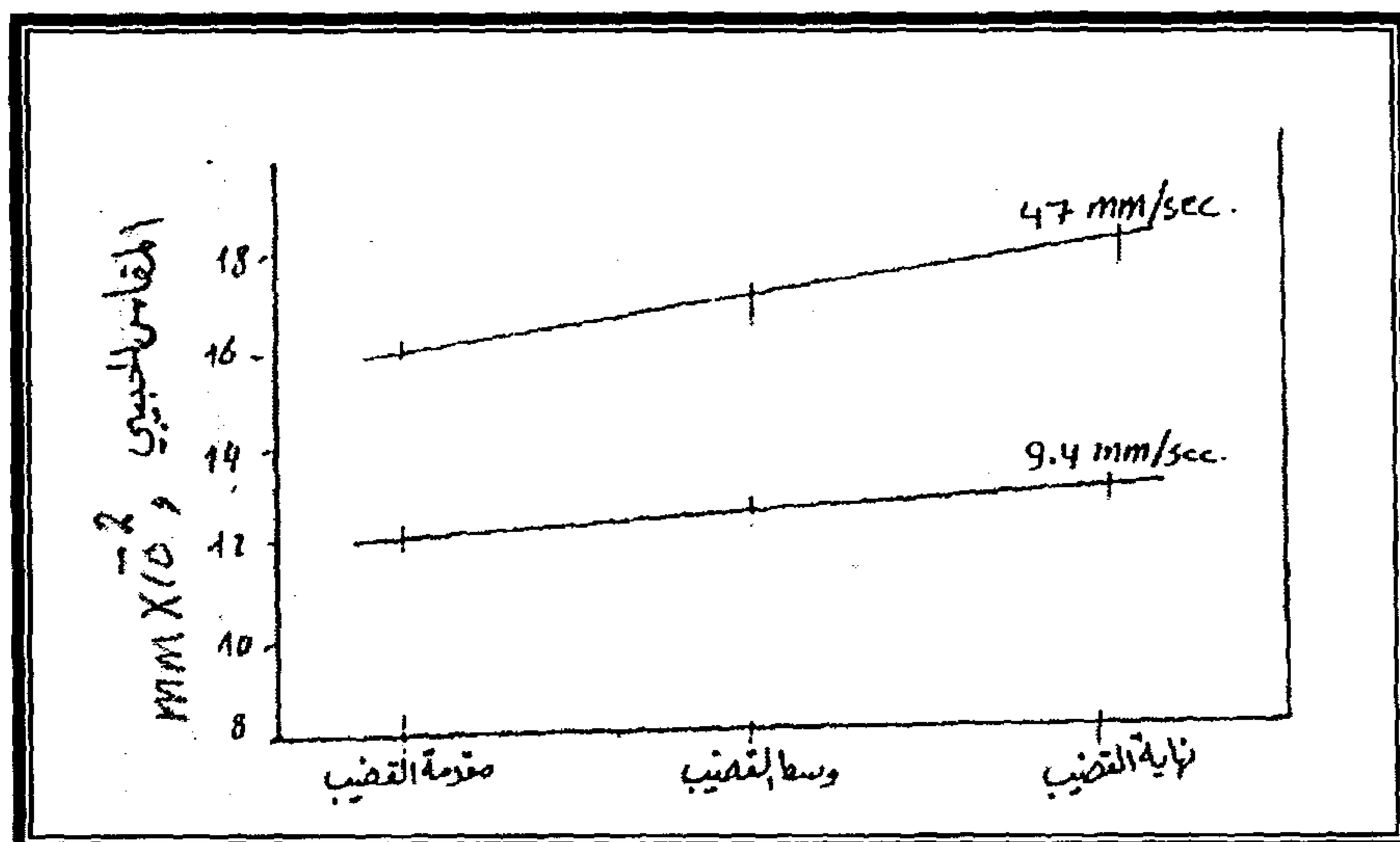


شكل (4-8)

تأثير نسبة البثق على المقاس الحبيبي للمنتج المبثوق.

2- سرعة البثق (Extrusion Speed)

تؤثر سرعة البثق على الخواص الميتالورجية للمنتج المبثوق وبصورة واضحة على المقاس(الحجم) البلوري والذي بدوره يحدد الخواص الميتالورجية والميكانيكية للمعدن. ويبين الشكل(4-9) الرسم البياني لتاثير سرعة البثق على المقاس البلوري حيث تم بثق مجموعتين من قضبان البراص (30-70) تحت نفس الظروف مع استخدام سرعتي بثق مختلفتين هما 9.4 mm/s في الاولى و 47 mm/s في الثانية. يتضح من ذلك انه كلما كانت سرعة البثق اكبركلما كان معدل المقاس البلوري الناتج اكبر.



الشكل (4-9)

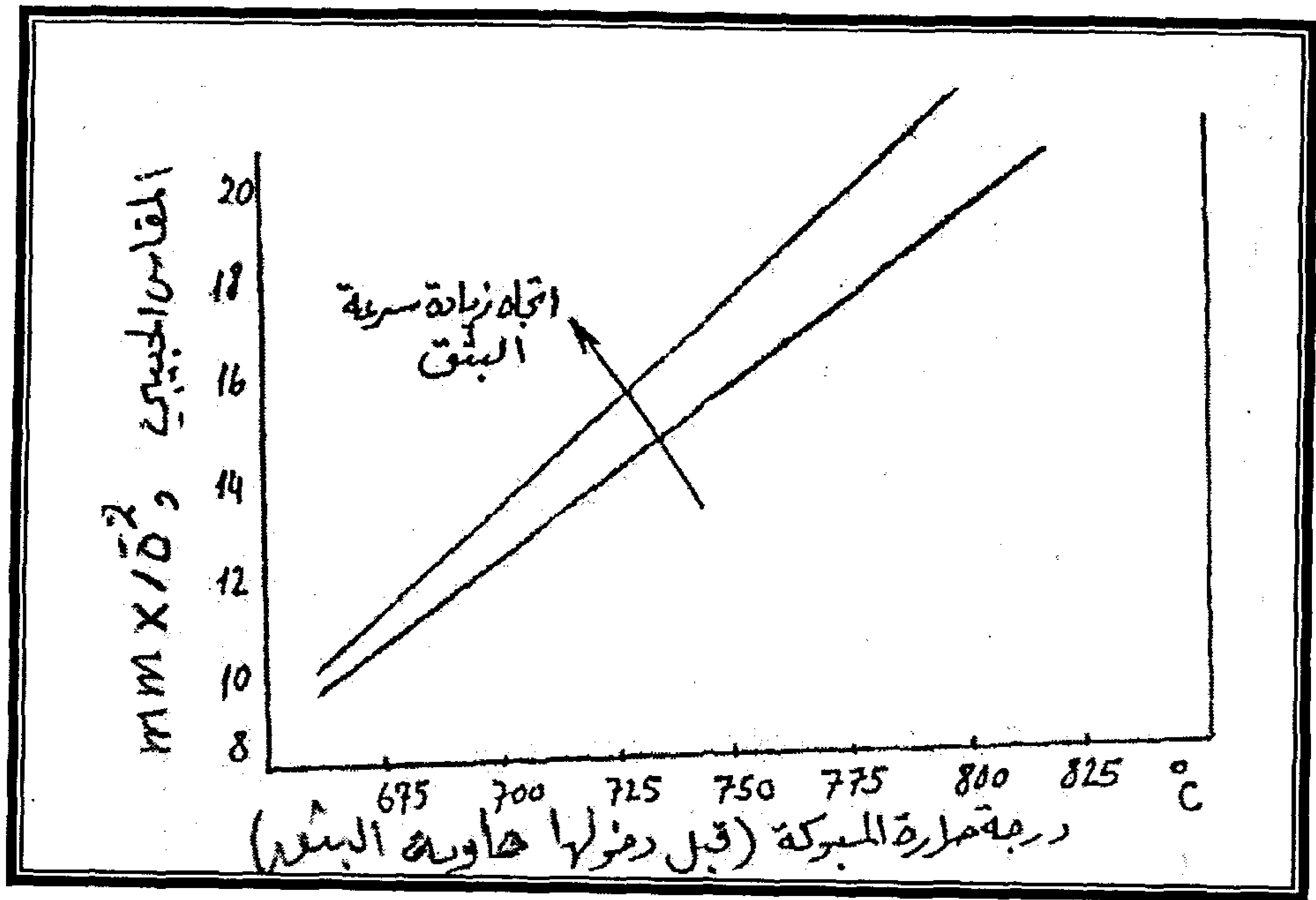
تأثير سرعة البثق على المقاس الحبيبي لقضبان براص (30 – 70).

3- درجة حرارة البثق(Extrusion Temperature)

يبين الشكل(4-10) العلاقة التجريبية بين درجة حرارة المعدن المبثوق والمقاس البلوري الناتج، حيث اخذت هذه النتائج من بعض التجارب التي اجريت على سبيكة البراص (30-70) ولسرعتي بثق مختلفتين.

4- 2- 3 حساب قوة البثق

تحسب قوة البثق اما عمليا وذلك عن طريق القياسات او باعتماد المبدا النظري والذي مضمونه ان الشغل (work) المنجز من قبل مكبس البثق يتحلل الى الجهد المطلوب لتحويل المسبوكة الى منتج مبثوق وبمقطع معين اي بمقدار الشغل المنجز لتشكيل المسبوكة وجهد اخراج المعدن.



شكل (4- 10)

تأثير درجة حرارة المعدن المبثوق على المقاس الحبيبي و علاقتها بسرعة البثق.

وقد تم اقتراح عدد كبير من المعادلات تلتقي جميعهـا بالعوامـل الاساسـية. وفيمـا ياتي احدى هذه المعادلات وهي معادلة سيبل (Siebel Equation)

A/a F=KA log

حيث ان :

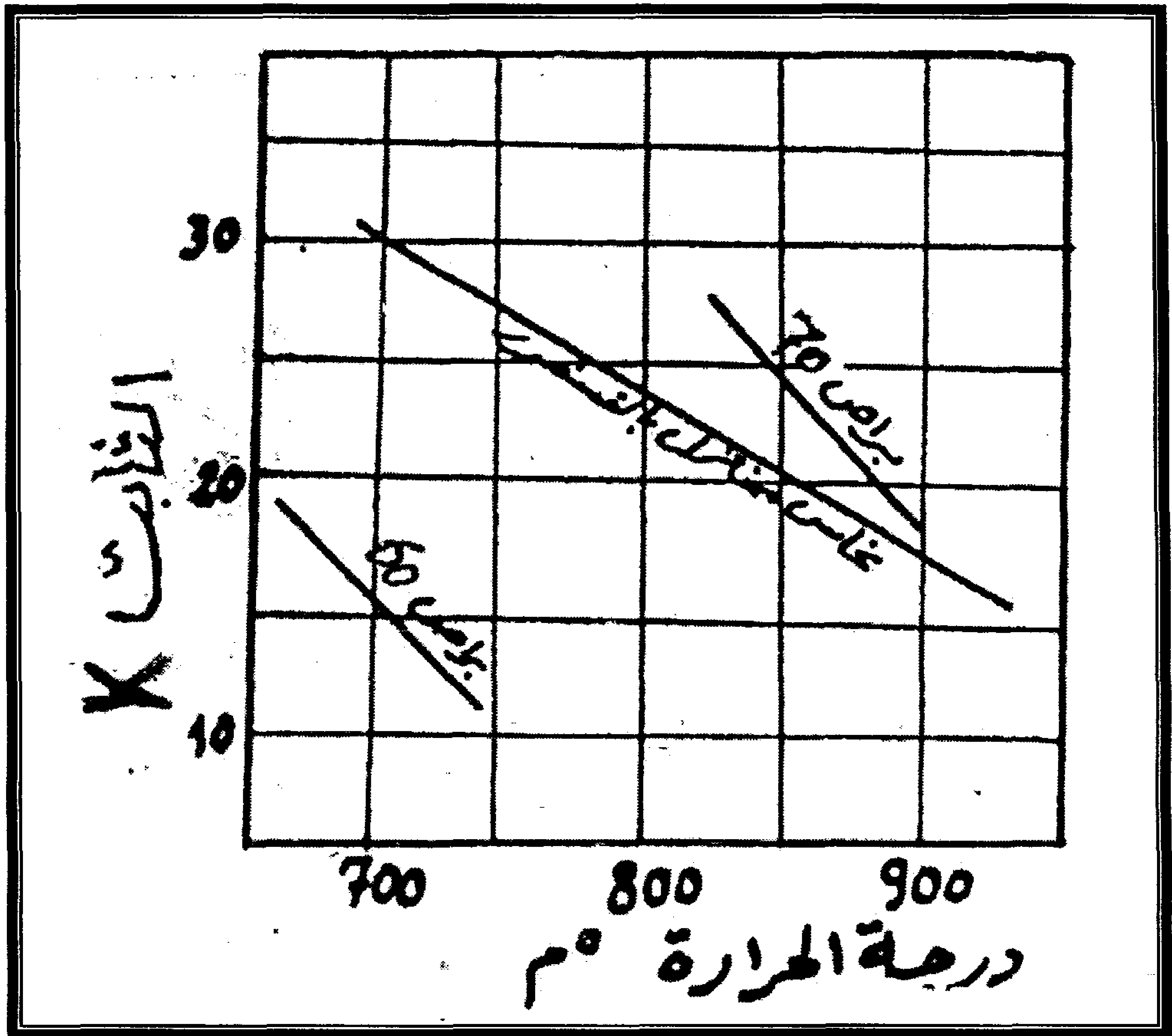
F=القوة اللازمة للبثق

K= ثابت

A= مساحة مقطع الحاوية (Container)

a= مساحة مقطع المنتج المبثوق

ويدخل ضمن الثابت(K) عدة عوامل مهمة جدا، مثل قوة الاحتكـاك بـين سـطح الحاوية والمعدن المبثوق وبينه وبين سطح القالب وكذلك بين قرص البثق والحاوية ----- -الخ. يبين الـشكل(4-11) تـاثير درجـة حـرارة المعـدن المبثـوق علـى قـيم الثابـت(K) ولثلاث انواع من سبائك النحاس. حيث يظهـر انـه كلمـا ازدادت درجـة الحـرارة كلمـا صغرت قيمة الثابت(K) وبالتالي نحتاج الى قوة بثق اقل. وهذا مـا يلاحـظ عمليـا حيـث تكون عملية البثق اسهل كلما رفعت درجة حرارة المسبوكة.



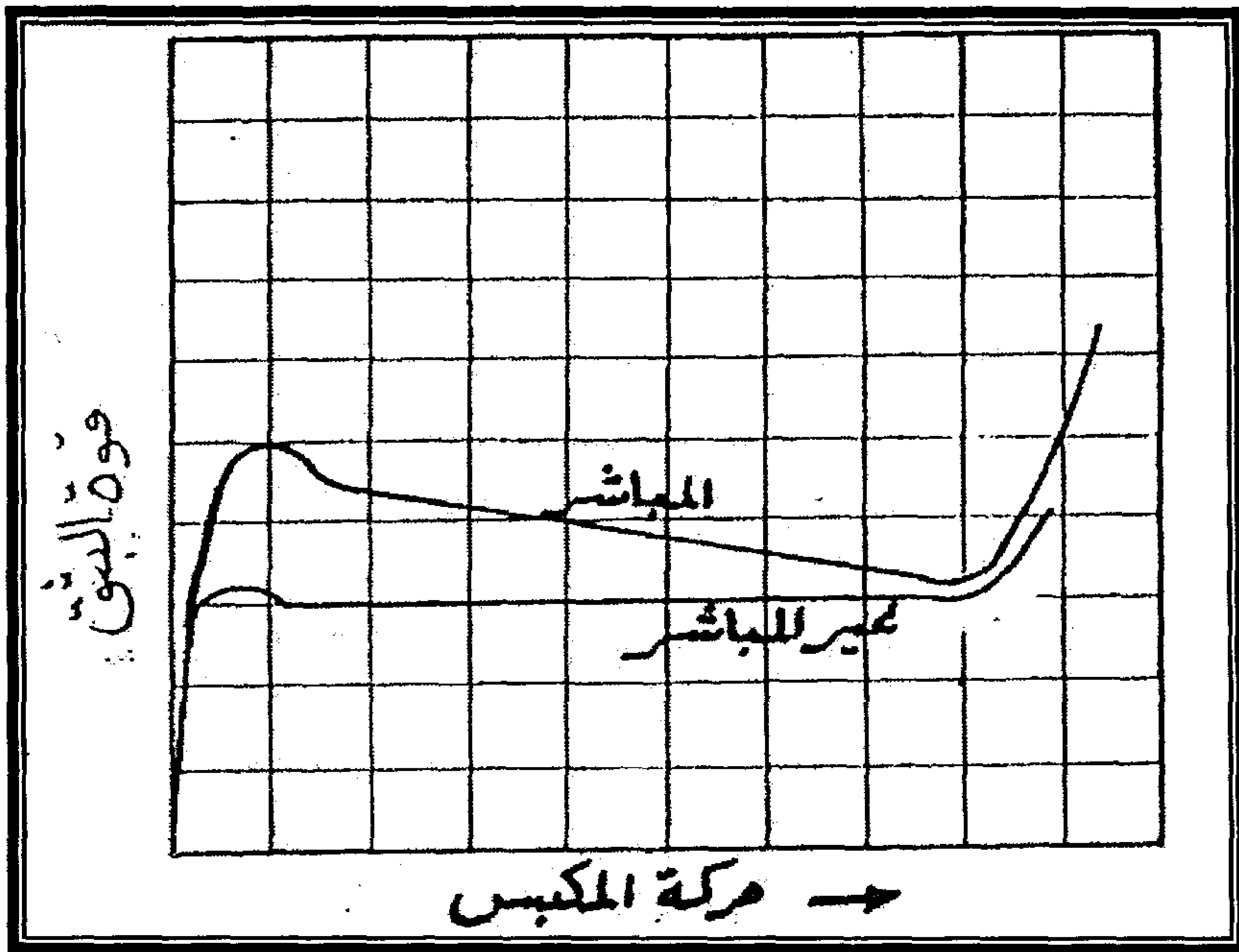
شكل (4 – 11)

علاقة درجة حرارة المعدن المبثوق مع قيمة الثابت (K).

وتتاثر القوة اللازمة للبثق من سبيكة الى اخرى وحسب التكوين الكيميائي لها وكما يتضح ذلك جليا من الشكل(4-11) انف الذكر حيث تختلف قيم الثابت (K) من سبيكة البراص(30-70) عما هي عليه في سبيكة البراص (40-60) وكذلك تختلف عن النحاس المختزل بالفسفور.

4- 2- 4 المقارنة بين البثق المباشر وغير المباشر:

يلزم في عملية البثق المباشر قوة اكبر مقارنة مع القوة اللازمة للبثق غيرالمباشر بحيث تشكل الاخيرة ما نسبته 60-70% مما هي عليه في البثق المباشر. وهذا ناتج عن انعدام الاحتكاك بين المعدن وجدار الحاوية،كما ان طريقة انسياب المعدن في البثق غير المباشر اكثر سهولة مما هي عليه في البثق المباشر. يمثل الشكل (4-12) العلاقة بين قوة البثق اللازمة لكل من العمليتين وعلاقتهما بسرعة حركة المكبس اثناء عملية البثق. تكون نوعية سطح المعدن المبثوق بالطريقة المباشرة افضل وذلك لكون منطقة التشكيل ضيقة، اضافة الى ان طول المسبوكات المستخدمة في البثق المباشر تكون اقصر. فعلى سبيل المثال، في المكبس (2500 ton) الخاص بالبثق المباشر تستخدم مسبوكات ذات ابعاد(205×900mm) في حين تستخدم في البثق غير المباشر مسبوكات ذات ابعاد(205x1200mm) وبنفس مقدار الطاقة المستهلكة. وتصل انتاجية (Yield) الاول % 84 فيما تكون للثاني 97%، وتعتبر عملية البثق غير المباشر مناسبة للبراص، اما النحاس فيصعب بثقة بهذه الطريقة لكون النحاس لين نسبيا ويلتصق على جدار(سطح) الحاوية ويحتاج الى تبريد بالماء بعد المكبس مباشرة حيث يصعب تحقيق ذلك في الطريقة غير المباشرة.



شكل (4 – 12)

مقارنة بين قوة البثق (المباشر و غير المباشر) مع سرعة حركة المكبس.

4- 3 السحب (Drawing)

وهي العملية التي يتم فيها تقليل مساحة المقطع العرضي للمعدن لحساب زيادة طوله، على اعتبار ان الحجم ثابت تقريبا، وذلك بسحبه من خلال قالب خاص عند درجة حرارة الغرفة. ولابد من كون المعدن المراد سحبه ذو مطيلية عالية فهو اما ان يكون مبثوق او ملدن. وعند تعدد مرات السحب يجب تلدين المعدن بين السحبات مع الاخذ بعين الاعتبار مقدار الاختزال الممكن لكل معدن او سبيكة بين مرحلة تلدين واخرى. ويشترط ان يكون المعدن المراد سحبه خاليا من الاكاسيد والتي يمكن ازالتها بعملية الغسل الكيميائي (Pickling) التي تجرى في احواض من محلول حامض الكبريتيك (بتركيز15%) وعند درجة حرارة 80°C ثم تغسل السبيكة بعد ذلك في احواض من الماء

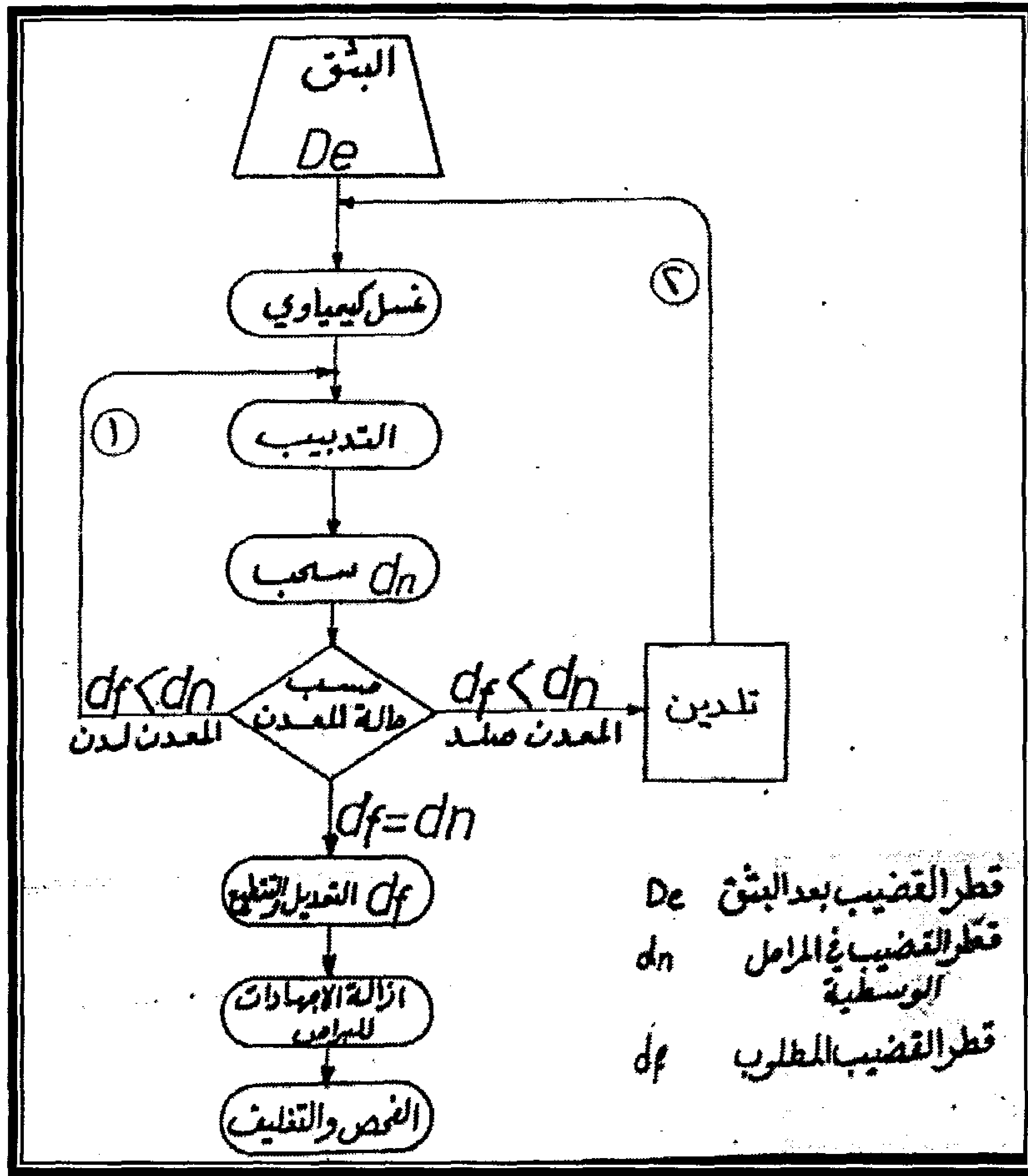
البارد ومن ثم في احواض من الماء الساخن. تستخدم عدد من السوائل لغرض التزييت اثناء عملية السحب والهدف من ذلك هو تبريد القالب وزيادة عمره والحصول على سطح صقيل للمعدن المسحوب وبابعاد ذات سماحات دقيقة وخواص ميتالورجية معينة. عند اعداد المسالك التكنولوجية لتصنيع القضبان السداسية المسطحة والدائرية وغيرها يتم بثق المنتج اولا بقياسات اكبر بقليل من القياس المطلوب ثم يسحب الى القياس المطلوب، بحيث ان ما يحدد هذا الاختلاف في المقطع هو الخواص النهائية المطلوبة للمعدن المسحوب، على سبيل المثال، الصلادة والمطيلية ومقاومة الشد والمقاس الحبيي (البلوري) وغير ذلك وضمن حدود الامكانيات المتاحة في المصنع. تتم اجراء عملية السحب على مكائن السحب (Draw Bench) والتي تتكون بصورة رئيسة من الاجزاء المبينة في الشكل(4-13). تختلف مكائن السحب بعضها عن بعض بآلية اعداد حركتها. فمنها ما يعمل بالمحركات الكهربائية ومنها ما يعتمد على الانظمة الهيدرولية. وبعد اجراء عملية غسل المعدن وتدبيب نهاياته ينقل الى ماكنة السحب حيث تجرى عملية السحب بادخال النهاية المدببة في القالب ومسكها من الجهة الثانية له، بفكوك عربة السحب. ثم يسحب المعدن من خلال القالب المثبت على الماكنة حتى وصول العربة الى نهاية شوطها عند الطرف البعيد عن القالب. ينفتح فكا الماسكة ويتحررالمعدن وحسب طول القضيب بعد البثق والقطر النهائي المطلوب، ثم تعود العربة الى وضع الابتداء للبدء بدورة اخرى لقطعة جديدة او لمقطع اخر اذا اريد تبديل القالب.

فكي مسك القريبة
عربة سحب المنيخ
قالب السحب
المعدن قبل السحب
المعدن بعد السحب
سلسلة معدنية

شكل (4 – 13)

مخطط يوضح فكرة سحب القضبان و المقاطع.

يبين الجدول(2–5) انف الذكر، اكبر نسبة ممكنة للتشكيل على البارد والتي من خلالها يمكن تحديد مقدارالاختزال في المقطع بين عمليات التلدين، فعلى سبيل المثال، تبلغ نسبة التشكيل العظمى الممكنة للنحاس90% وللبراص الفا(30–70)حوالي% 75 وهكذا في حين ان الخبرة العملية تستدعي استخدام نسبة تشكيل لاتزيد على% 45 بالنسبة لقضبان واسلاك النحاس والبراص ولا تزيد على 40% بالنسبة للانابيب المصنعة منهما في المرحلة الواحدة. وتعتمد نسبة التشكيل في المرحلة الواحدة على حالة المعدن الميتالورجية قبل السحب أيضا. و يتم تحديد مقدار التشكيل في اية مرحلة على اساس الخواص الميكانيكية المطلوبة وذلك بالاعتماد على منحنيات العلاقة بين نسبة التشكيل والخواص الموجودة في ملاحق نهاية الكتاب. يبين الشكل (4–14) مخططا لسلسلة العمليات التي يمر بها النحاس وسبائكه اثناء عملية التصنيع ابتداء من البثق ثم السحب و اسلوبه، وهي تخص تصنيع القضبان وهو ينطبق كذلك على المقاطع الاخرى المشكلة اضافة الى الانابيب.



شكل (4 – 14)

سلسلة العمليات التصنيعية للقضبان من النحاس و سبائكه.

4- 3- 1 تصنيع واستخدام انابيب النحاس وسبائكه

تتم عملية انتاج الانابيب من النحاس وسبائكه بطرائق مختلفة وكما ياتي:

1- السباكة بالطرد المركزي ثم تشغيل سطح المسبوكة بالخراطة او اجراء عمليات السحب.

2- بثق الانابيب ثم اجراء عملية السحب والدرفلة.

3- تصنيع صفائح بعملية الدرفلة ثم ثنيها ولحامها ومن ثم سحبها وحسب الحاجة والغرض.

اما اكثر هذه الطرائق انتشارا في الصناعة فهي انتاجها بوساطة البثق ثم اجراء عمليات السحب عليها. تتم هذه العملية بتسخين المسبوكات ذات المقطع الدائري(Billets) في افران خاصة، سواء كانت افران غازية او كهربائية اوحثية، وبمدى درجات حرارة يتراوح بين°C 600 و°C 1050 وحسب التكوين الكيميائي للمعدن المبثوق، كما ورد سابقا. اما القوة اللازمة للبثق فتزداد كلما قلة درجة حرارة المعدن المراد بثقه وذلك لأن الطاقة اللازمة لتطويعه (دفعه خلال القالب) تزداد كلما انخفضت درجة الحرارة.

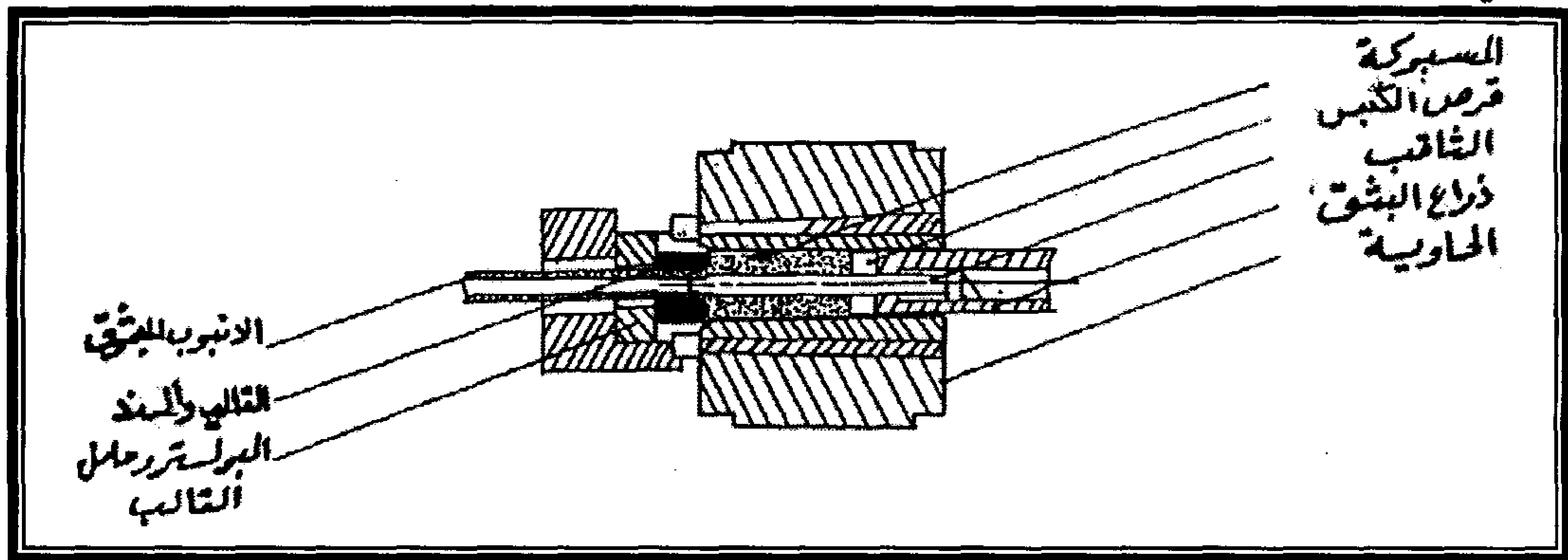
يمكن اجراء عملية البثق باستخدام مكابس عمودية (Vertical press) او افقية مجهزة بمكبس خاص لثقب السبيكة (Piercer). وهناك مكابس يتم فيها بثق مسبوكات مثقوبة. ويمكن ان تستخدام لهذا الغرض مكابس البثق المباشر وغير المباشر. ومن مزايا المكابس العمودية هي امكانية الحصول على سمك منتظم وذلك لسهولة ضبط تمركز القالب والثاقب اكثر مما هو عليه في المكابس الافقية.

ولكن الذي يحد من استخدامها هو ان الطول المبثوق محدد بالمجال الممكن بين القالب ومستوى الارضية، فكلما زادت المسافة تحت الارض كلما زادت التكاليف حيث تصبح الصيانة اكثرصعوبة. اما في المكابس الافقية فيحدد طول الانبوب المبثوق بطاقة المكبس والمجال الافقي المتوفر حيث تحدد طاقة المكبس طول المسبوكة وخصوصا فيما تخص امكانية ثقب المسبوكة. ويكمن مصدر الصعوبة في انتاج الانابيب في عدم سهولة الحصول على سمك منتظم لجدار الانبوب وذلك لصعوبة تمركز القالب مع الثاقب (Mandrel) والتي بدورها قد تنتج عن صعوبة تطابق محاور المكبس خصوصا في المكابس المستخدمة لفترة طويلة نسبيا.

يتم تبريد الانابيب النحاسية بعد خروجها من القالب بتيار غاز خامل او بالهواء او بالماء بحيث يمر الانبوب المبثوق ومباشرة بعد خروجه من القالب في حوض ماء او في

نفق يحتوي على غاز خامل لمنع توليد طبقة من الاوكسيد على سطح المنتج المبثوق وخاصة بالنسبة للنحاس النقي اما انابيب البراص فتبرّد بالهواء.

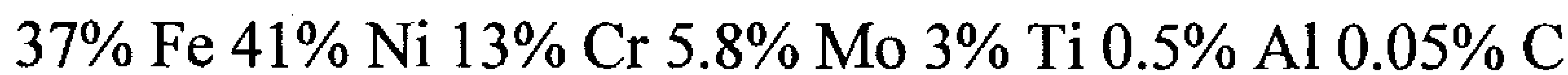
يبين الرسم التخطيطي في الشكل(4-15) فكرة عملية البثق للانابيب والعدد المستخدمة. تستخدم عدد خاصة للبثق الساخن لانابيب النحاس وسبائكه وهذه العدد هي:



الشكل (4-15)

اسلوب بثق الانابيب والعدد المستخدمة له.

1- الحاوية (Container) وتتكون من بطانة (Liner) داخلية مركبة من بطانات متعددة لزيادة مقاومتها. هذه البطانات مصنعة من الفولاذ الخاص بالتشكيل على الحار (Hot work steel)،على سبيل المثال، الفولاذ:


37% Fe 41% Ni 13% Cr 5.8% Mo 3% Ti 0.5% Al 0.05% C

2- قلب التشكيل (Mandrel) وهو اما ان يكون على شكل قضيب صلد ذو نهاية شبه كروية ويبرد من الخارج او ان يكون مجوف ويتم تبريده من الداخل بنظام خاص. اما معدل عمره فيختلف حسب المعدن المبثوق ويصنع عادة من الفولاذ ايضا، على سبيل المثال، الفولاذ:


91.25% Fe 5% Cr 1.35% Mo 1.1% V 0.9% Si 0.4% C

3- القالب (Die) وحامل القالب (Die holder) وتصنع من الفولاذ فعلى سبيل المثال، يصنع القالب من الفولاذ:

6.5% W 5% Co 2.25% Cr 0.7% Mo 0.3% C 85.25% Fe

اما حامل القالب فمن الفولاذ :

92.08% Fe 5% Cr 1.1% Si 1.1% V 0.37% C 0.35% Mo

4- 3- 2 عمليات السحب البارد للانابيب (Cold Drawing of tubes)

يتم اعداد الانبوب بالبثق بقياسات اقرب ما يمكن الى قياسات الانبوب النهائية المطلوبة مع الاخذ بنظر الاعتبارالخواص الميكانيكية للانبوب بحالته النهائية وذلك من اجل اجراء اقل عدد ممكن من عمليات السحب.وقبل ايضاح تكنولوجيا انتاج الانابيب النحاسية لابد من تبيين انواع وطرائق السحب حسب نوع الماكنة وتركيبها وهي:

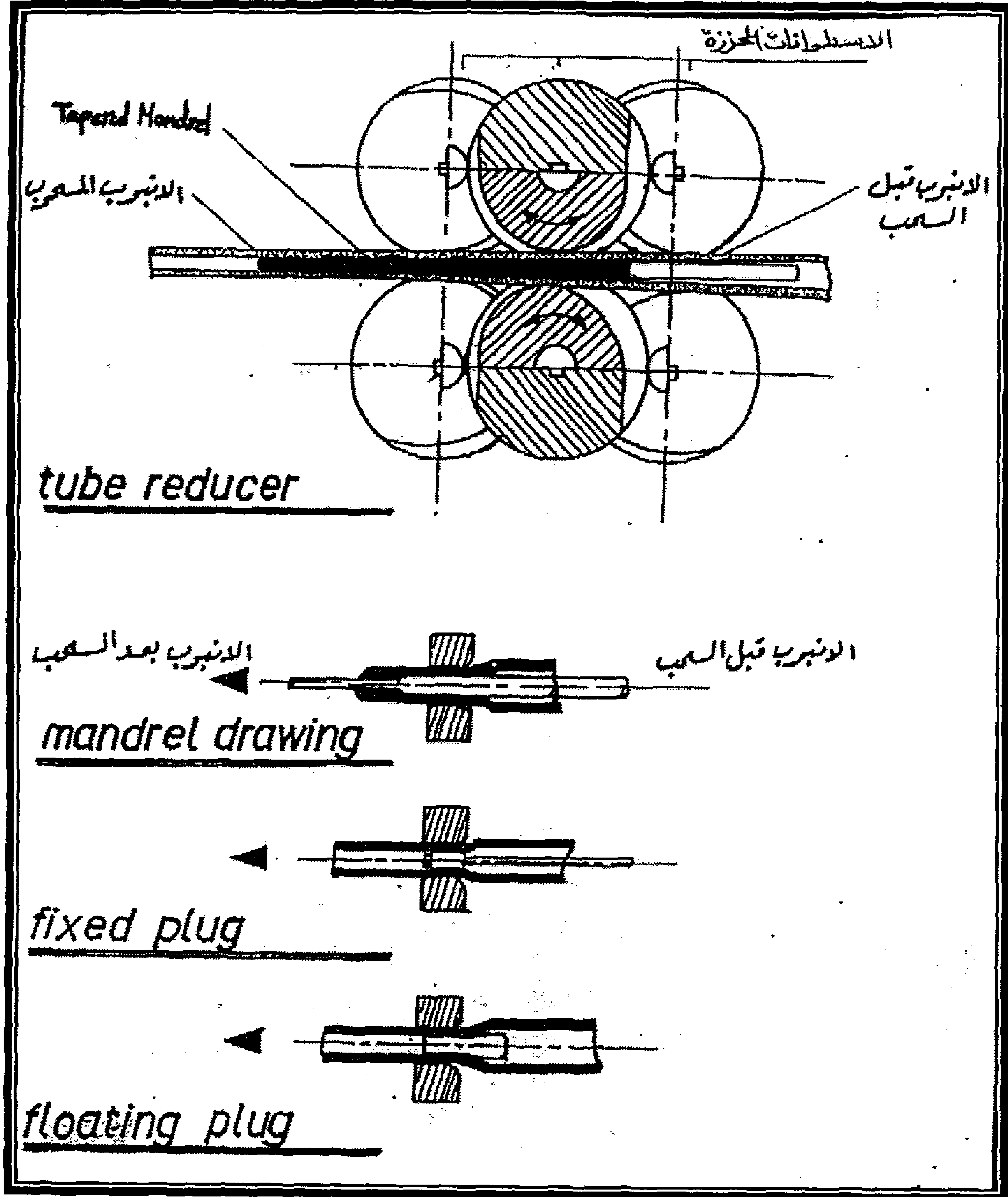
1- ماكنة السحب التي تعتمد في حركة فكوك مسك المنتج على سلسلة سحب خاصة(Chain draw bench).

2- وعندما يكون اسلوب السحب هيدرولي تسمى عندئذ ماكنة السحب الهيدرولية (Hydrolic Draw Bench).

3- ماكنة سحب (Pull Block) ويمكن القول ان هذه الطريقة هي ارخص الطرائق المستخدمة في سحب الانابيب النحاسية كما وتستخدم ايضا في سحب انابيب البراص. وفي هذا النوع تستخدم السدادة العائمة (Floating Plug) حيث يتم فيها تكرار عملية السحب للانبوب، ابتداء من القطر بعد البثق، وذلك بتقليل المقطع الى ان يتم الحصول على القياسات المطلوبة.

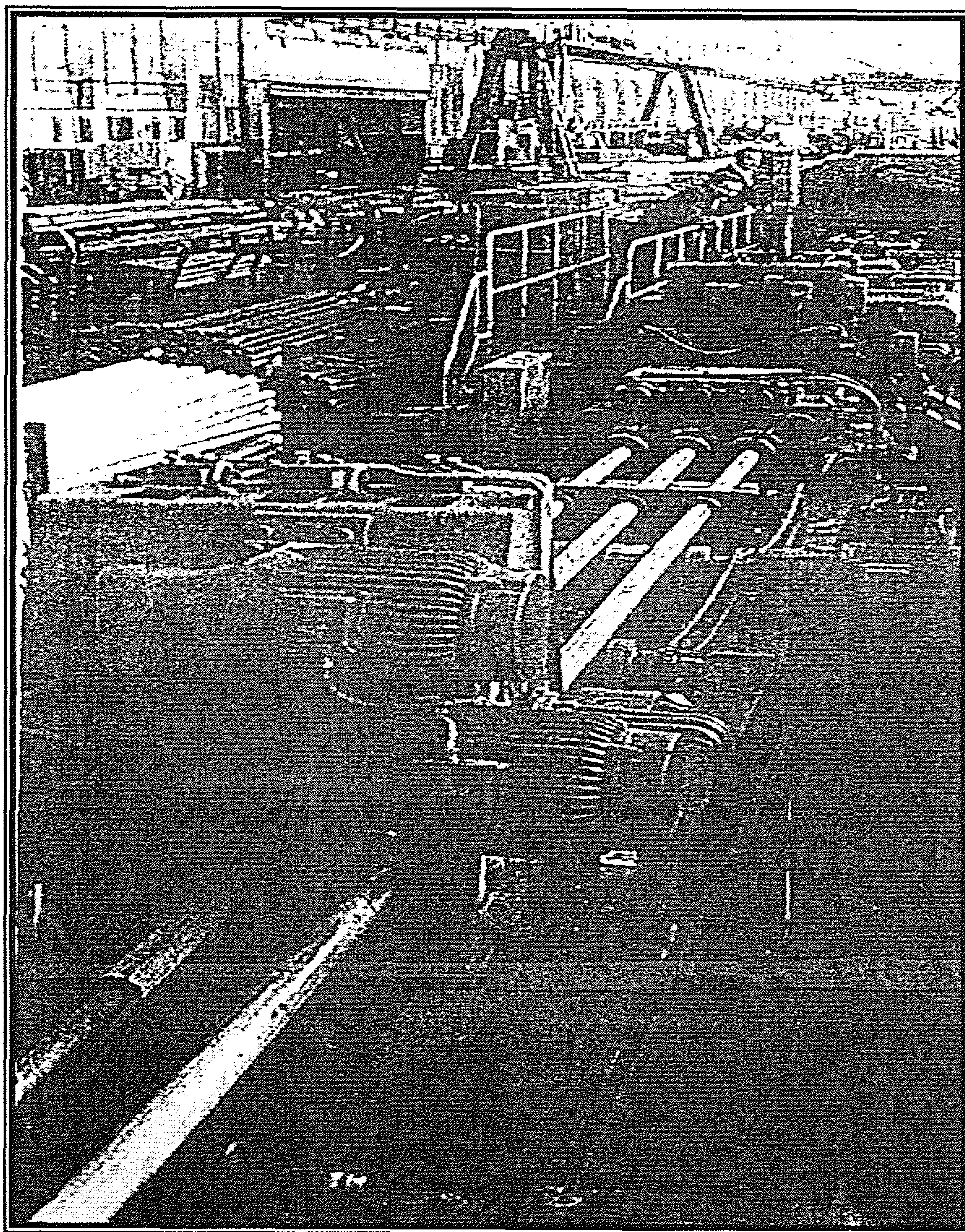
4- ماكنة سحب الانابيب بالدرفلة (Tube Reducer) حيث يتم وضع الانبوب المراد سحبه بين اسطوانات درفلة ذات اخدود(Grooved Roller) ونتيجة لحركتها التذبذبية بسبب اختلاف مقطعها ووجود قضيب مسلوب داخل الانبوب (Tapper Mandrel) يتم اختزال المقطع مع زيادة الطول ولكن هذه العملية مكلفة ولذلك فان استخدامها محدود.

يمكن ايضاح انواع عمليات السحب من خلال مخططات السحب كما في الاشكال (4-16) و(4-17) و(4-18).



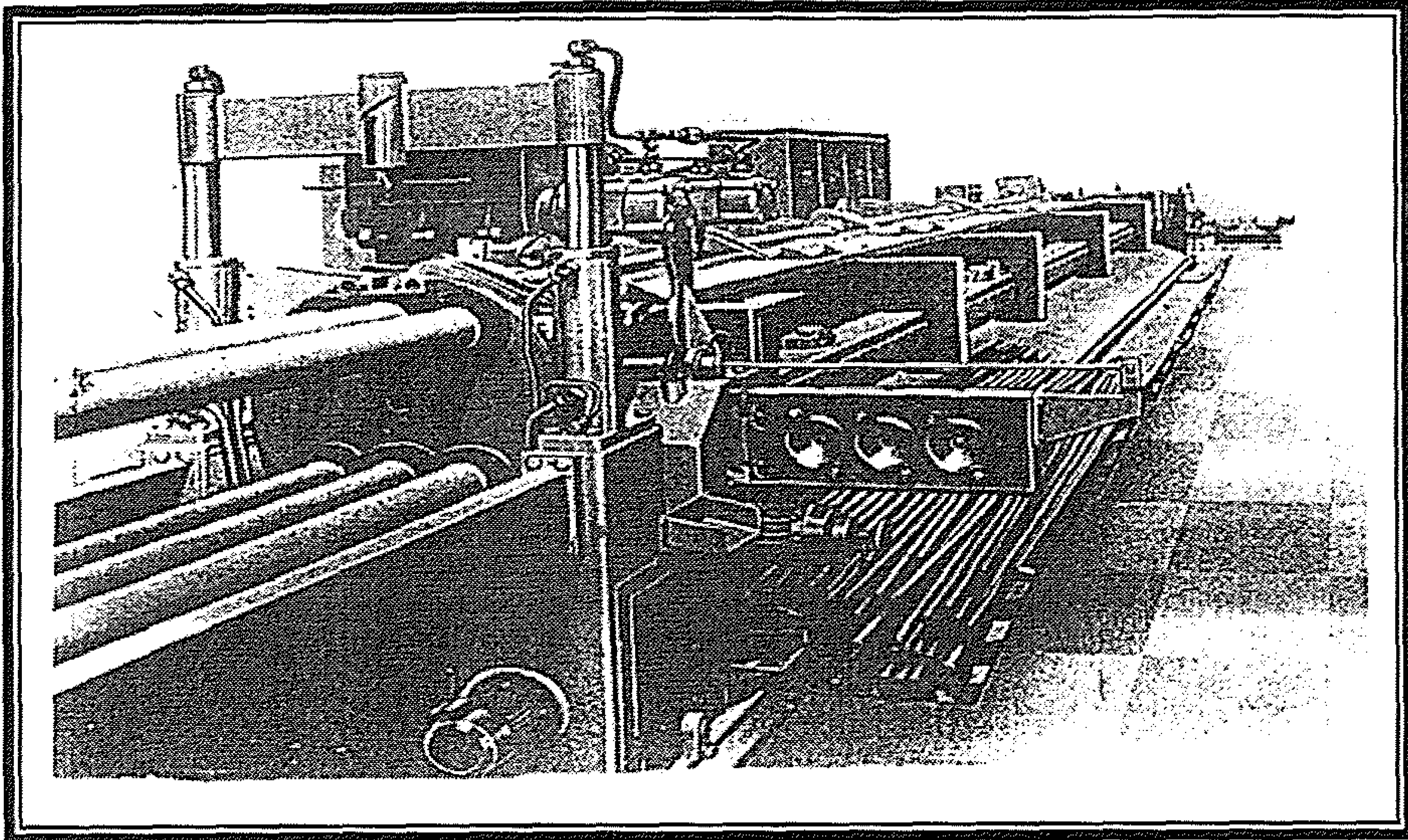
شكل (4 – 16)

أنواع عمليات السحب.



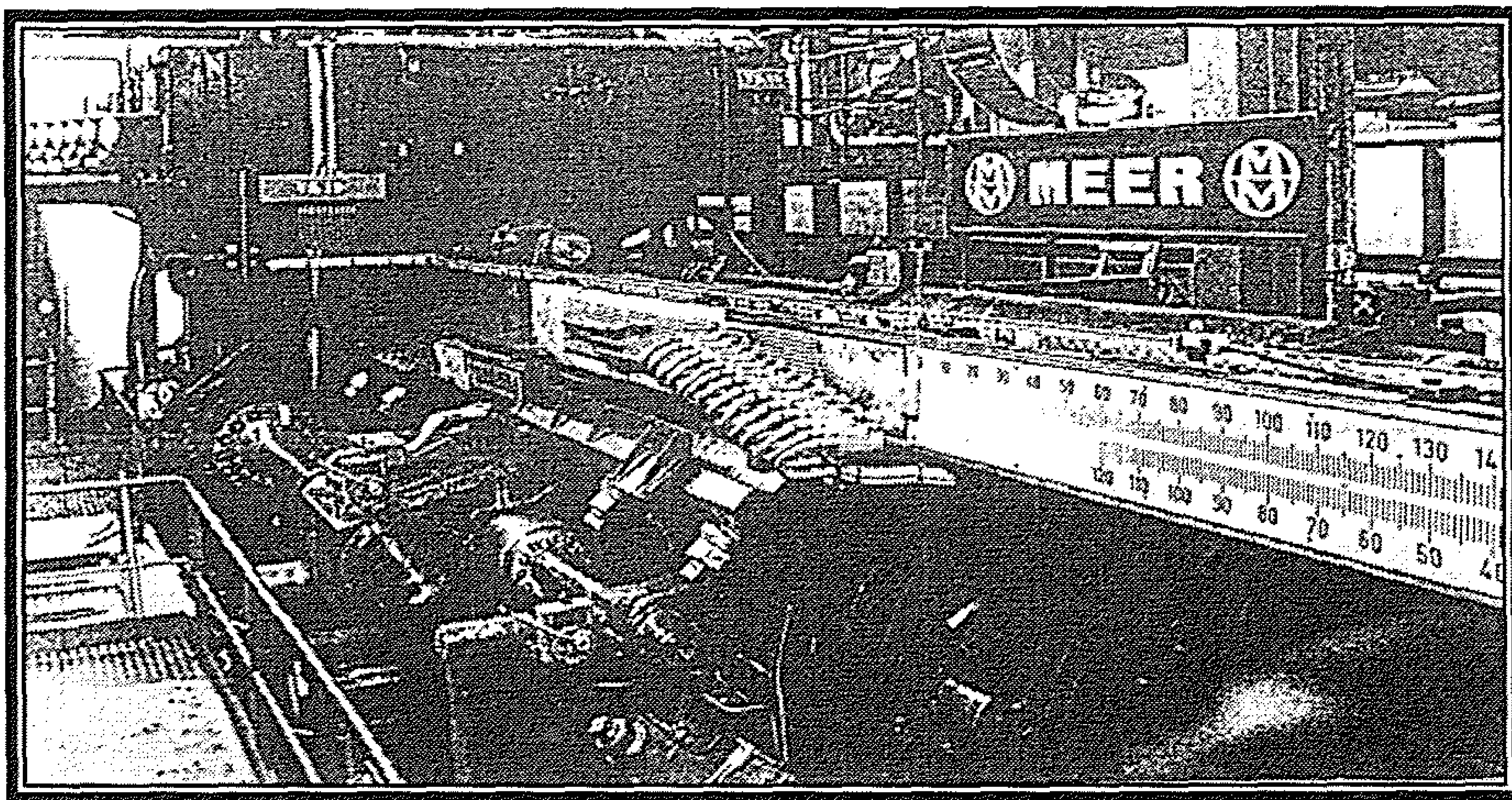
شكل (4 – 17)

ماكنة درفلة انابيب النحاس و سبائكه.



شكل (4- 18.أ)

صورة لماكنة سحب أنابيب ثلاثية



شكل (4- 18 ب)

صورة لمكبس بثق هيدروليكي.

4- 3- 3 تكنولوجيا سحب الانابيب

(Tubes Drawing Technology)

تعتبر عملية السحب عملية تشكيل على البارد وتهدف الى تحقيق قياسات دقيقة ضمن المواصفات المحددة للغرض المنتج من اجله. وتتضمن هذه المواصفات الابعاد اضافة الى الخواص الميكانيكية حيث يعتبرالمعدن المبثوق في حالة لينة (Soft)، وهو وان كان قد يصلح لبعض الاستخدامات الا ان الدقة في تحقيق السماحات المطلوبة يمكن الحصول عليها باجراء عملية السحب ثم تلدين المنتج المسحوب لاعادته الى حالة الليونة، ان تطلب الامر ذلك، وعندئذ يمكن تحقيق السماحات والخواص المطلوبة. وبنفس الطريقة تتم معالجة الحالات التي تكون فيها خواص المنتج المطلوبة في حالته الصلدة (Hard) او نصف الصلدة (Half hard) حيث تحدد نسبة التشكيل (عند السحب) اللازمة بعد اخر عملية تلدين من خلال المنحنيات التي تحدد العلاقة بين الخواص الميكانيكية المطلوبة ونسبة الاختزال في المقطع(Reduction) حيث ان كل سبيكة نحاسية لها منحنياتها الخاصة.

كما يمكن حساب نسبة الاختزال في المقطع من المعادلة الاتية

Reduction (نسبة الا ختزال) $R= (A-a/A) \times 100$ ------- (1)

حيث ان a= مساحة المقطع بعد السحب و A = مساحة المقطع قبل السحب.

ويمكن اعتبار نسبة الاستطالة (λ) مكونة من جزئين الاول يتعلق بمعدل القطرين الداخلي والخارجي (λd) والثاني يتعلق بسمك الانبوب (λt).

$\lambda=\lambda_d.\lambda_t$

$\lambda_d =(D_1-t_1)/(D_2-t_2)$ & $\lambda_t = t_1/t_2$ .... (2)

$\lambda= (D_1-t_1)\, t_1/ (D_2-t_2)\, t_2$ ... ... (3)

حيث ان

D_1 = قطر الانبوب قبل السحب

D_2= قطر الانبوب بعد السحب

t_1 = سمك الانبوب قبل السحب

t_2 = سمك الانبوب بعد السحب

فعلى سبيل المثال اذا اريد حساب عدد السحبات(Number of Passes)والمراحل واذا كان الانبوب المطلوب ملدن ومن النحاس النقي وذو قطر خارجي 19mm وداخلية15 mm و من ثم له سمك مقداره 2 mm. لقد وجد عمليا انه بالنسبة للنحاس الملدن تكون

$\lambda_d = 1.25$ & $\lambda_t = 1.2$

ومن خلال هذه القيم وباستخدام المعادلتين المذكورتين في (2) يمكن حساب القطرين الخارجي والداخلي للانبوب خلال مراحل السحب وابتداءً من الابعاد النهائية المطلوبة(19*15mm)وكما في الجدول ادناه :

المرحلة	القطر الداخلي والخارجي	السمك
البثق	37x30mm	3.5mm
السحبة الاولى	29.7x24mm	2.9mm
السحبة الثانية	23.9x19mm	2.4mm
السحبة الثالثة	19x15mm	2mm

ومن خلال القراءات في الجدول اعلاه فان الانبوب يجب ان يبثق بحدود mm37 قطر خارجي وسمك mm3 .5. (اي بقطر داخلي mm30). وتجرى له عمليات السحب ويلدن بعد اخر مرحلة وكالاتي:

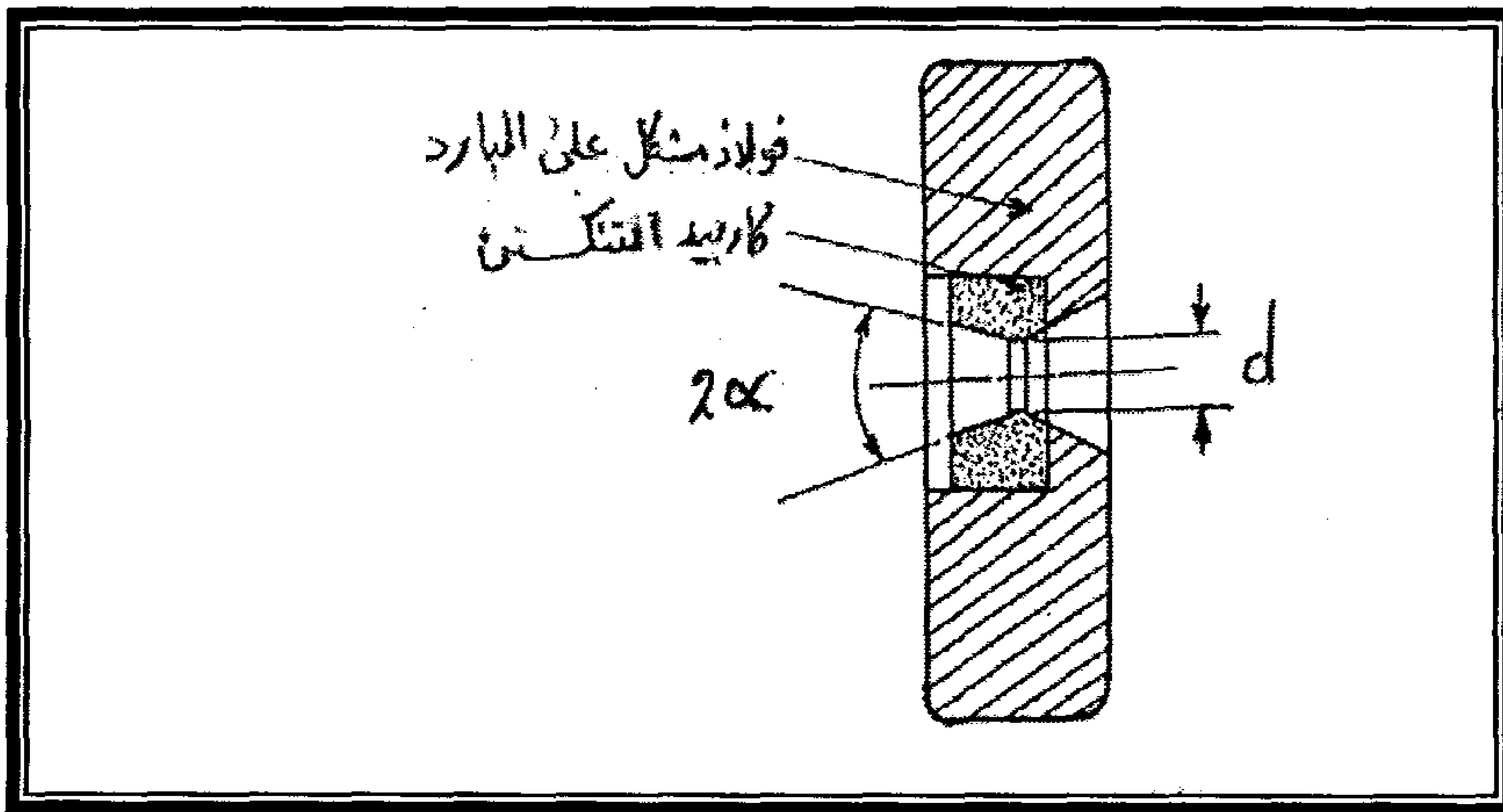
القطرالخارجي mm	القطرالداخلي mm	السمك mm	λ_t	λ_d	مراحل التصنيع
36.90	29.8	3.5	1.2	1.25	الاولى بثق
29.69	23.7	3.00	1.2	1.25	الثانية سحب
23.89	18.89	2.5	1.2	1.25	الثالثة سحب
19.00	15.00	2.00	1.2	1.25	الرابعة سحب

ومن الامور التي يجب الانتباه اليها عند اعداد المسلك التكنولوجي للانابيب وغيرها من المنتجات التي تنتج بهذه الطريقة هو اختصار المسلك الى اقصر مسار ممكن، ويحدد ذلك طاقة مكبس البثق واصغر مقطع يمكن بثقه وبقياسات مقبولة. كما يؤثر على ذلك ايضا نوع السبيكة ومدى تحملها لعمليات التشكيل البارد بدون تلدين اضافة الى نسبة الاختزال الممكنة بين كل عمليتي تلدين وما يتعلق بامور اخرى تختلف من مصنع الى اخر و حسب الامكانيات والمعدات المتوفرة.

اما في سبائك النحاس، على سبيل المثال البراص، فتتم الحسابات بنفس الاسلوب مع الاخذ بنظر الاعتبارنسبة التشكيل الممكنة لكل سبيكة واجراء التلدين الوسطي لاعادة المعدن الى لدونته ومن ثم الاستمرار باختزال المقطع لحين الوصول الى القياس المطلوب على ان تحدد نسبة التشكيل في آخر مرحلة وفقا للخواص الميكانيكية المطلوبة مع اجراء عملية ازالة الاجهادات وذلك لمنع حصول التشقق بسببها، كما سيرد ذلك فيما بعد.

4- 3- 4 عُدد وقوالب السحب (Drawing Tools and Dies)

تصنع عدد وقوالب السحب في الغالب حسب مواصفات خاصة ومحددة من خلال خبرة الشركات العالمية في هذا المضمار. فعلى سبيل المثال، تصنع قوالب السحب من الفولاذ مع كون الجزء الفعال منها مصنوع من كاربيد التنكستن (Tungsten carbides) والتي تمتاز بكونها اقتصادية من حيث عمرها العملي وجودة سطح المنتج المسحوب اما عمر هذه القوالب فيعتمد على نوع المعدن المسحوب وطريقة التزييت وكمية الزيت وكفاءة عملية صيانة القوالب اثناء ضبط الابعاد.ويبين الشكل(4-19) مخطط لشكل واجزاء قالب السحب.



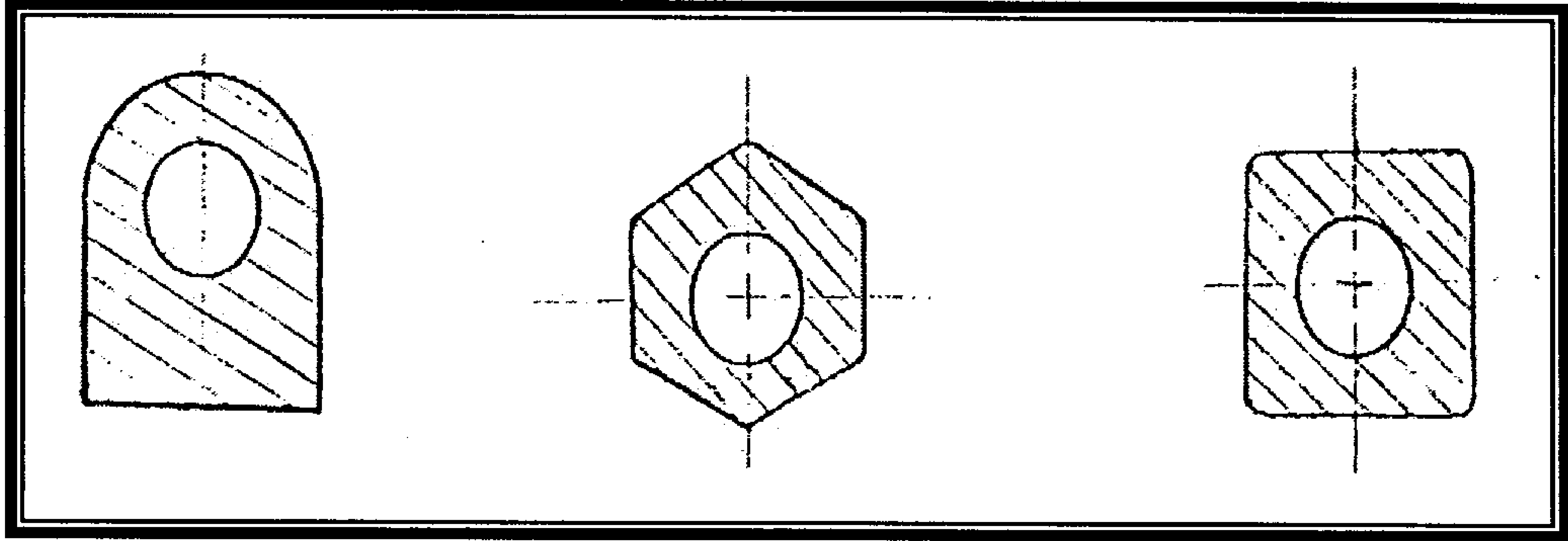
شكل (4 – 19)

مخطط لقالب السحب.

4- 3- 5 انواع الانابيب (Types of Tubes)

1- الانابيب الصغيرة(Small-bore Tubes) تستخدم السدادة العائمة (Floating Plug) في عمليات سحب المقاسات الصغيرة من الانابيب وبقالب مخروطي المدخل (Conical Die) حيث يمكن الوصول الى أقطارداخلية صغيره (اصغرمن1 mm) وذلك باستخدام مكائن سحب صغيرة(Small pull block).

2- الانابيب المشكلة (Shaped Tubes) هناك عدد من الانابيب المشكلة منها ما هـو متناظر ومتمركز ومنها ما يمتاز بعدم انتظام سمكة والتي يمكن ان تنتج باستخدام مكابس البثق ثم تجرى عليها عمليات السحب لضبط الابعاد والخـواص ويـبين الشكل(4-20) امثلة لبعض هذه المقاطع.



شكل (4 – 20)
مقاطع مختلفة لأنابيب مشكلة بالسحب.

3- انابيـب ثنائيـة المعـدن (Bi-metal Tubes) يـصنع هـذا النـوع مـن الانابيـب لاستخدامات خاصة كالحصول على مقاومـة تاكـل عاليـة خـصوصا عنـد تعـذر الحصول على معدن واحد يفي بهذه المتطلبات في محيط مُعادي والـذي يـستخدم (يغمر) الانبوب فيه او الوسط السائل الذي ينقل في الانبوب، كأن يكون السطح الخارجي من الفولاذ والداخلي من بـراص – المنيـوم اوكـون الاول مـن سـبيكة النحاس- نيكل والثاني من الفولاذ الى اخره. حيث يـتم سـحب الانبـوبين في ان واحد بعد ادخال احدهما في الثاني وتحت ظروف خاصة فينتج عن ذلك انبـوب من طبقتين بينهما ربط فيزيائي. ويوفرذلك اداءً جيداً فيما يخص الانتقال الحراري اضافة الى مقاومة التاكل الجيدة في الخارج والداخل عند اختلاف الوسطين.

4- الانابيب الاخرى ذات القياسات المختلفة وهذه المجموعة تنتج حسب نوع الانبوب ومقاسه وتستخدم لذلك احدى التقنيات الملائمة المبينة في الشكل(4-16) وخاصة السدادة الثابتة (Fixed plug).

4- 4 عمليات الانهاء (التشطيب)(Finishing Operations)

لايعتبر اتمام عملية السحب والحصول على انبوب ضمن القياسات المطلوبة كافيا لتحقيق كافة المواصفات المتوخاة في الانابيب بل يتطلب ذلك بعض العمليات الإنهائية المطلوبة وكالاتي:

4- 4- 1 التقويم (التعديل)(Straightening)

وتتم هذه العملية بطريقتين هما:

أ- يتم في الاولى تحقيق الاستقامة وذلك بادخال الانبوب بين مجموعتين من الاسطوانات ذات الاخدود والموضوعة في مستويين افقيين. وللتحقق من مدى دقة الاستقامة يستخدم مجس حساس يعتمد على مبدا التيارات الدوامة(Eddy currents) في ذلك. حيث تحدد مدى دقة العملية واعادة ضبط الاسطوانات لحين تحقيق الاستقامة وضمن السماحات المطلوبة، وفي حالات اخرى حيث لايوجد مثل هذا المجس فيُكتفى بالاعتماد على الفحص البصري.

ب- ماكنة تقويم مكونة من اسطوانات افقية ذات اخدود. حيث يدور الانبوب بصورة عرضية على هذه الاسطوانات. ولعملية التقويم هذه ميزة ايجابية هي ازالة الاجهادات كمطلب اضافي مع الحصول على الاستقامة. يتم تحديد دقة استقامة الانبوب المطلوب حسب الغرض من الاستخدام. فعلى سبيل المثال، فان الانابيب المستخدمة في المبادلات الحرارية تتطلب دقة في الاستقامة تصل الى0.4mm في المتر الواحد.

4- 4- 2 التقطيع الى الاطوال المقررة

تتم هذه العملية باستخدام منشار قطع دائري مصنوع من الفولاذ الصلد او الكاربيد وحسب نوع سبيكة الانبوب المراد قطعه. اما الدقة في الطول فقد تصل الى0.5mm لكل m 10 من طول الانبوب كما هو الحال في انابيب المكثفات(Condensers).

4- 4- 3 المعاملات الحرارية الاخيرة

وهذه العملية تجرى على الانابيب قبل التغليف وحسب الغرض من تصنيعها. فقد تجرى عليها عملية ازالة الاجهادات(Stress relieving) مع المحافظة على مقاومتها لتتحمل ظروف العمل المصممة من اجله، او ان تجرى عليها عملية تلدين للحصول على انابيب لينة(Soft) قابلة للثني مع المحافظة على مواصفاتها المطلوبة.

4- 5 استخدامات انابيب النحاس وسبائكه :

نتيجة للخواص الاساسية التي يتمتع بها النحاس وسبائكه والمبينة في الفصول السابقة، فقد امتاز النحاس و سبائكه بمدى واسع من الاستخدامات الصناعية فهو ذو مقاومة جيدة للتاكل في اوساط مختلفة، وله قابلية عالية للتوصيل الحراري والكهربائي اضافة الى قابليته العالية على التشكيل الحار او البارد والتي تجعل من الممكن الحصول على مدى واسع من الاشكال المتنوعة بوساطة عمليات التشكيل المختلفة، وفيما ياتي بعض استخدامات الانابيب النحاسية:

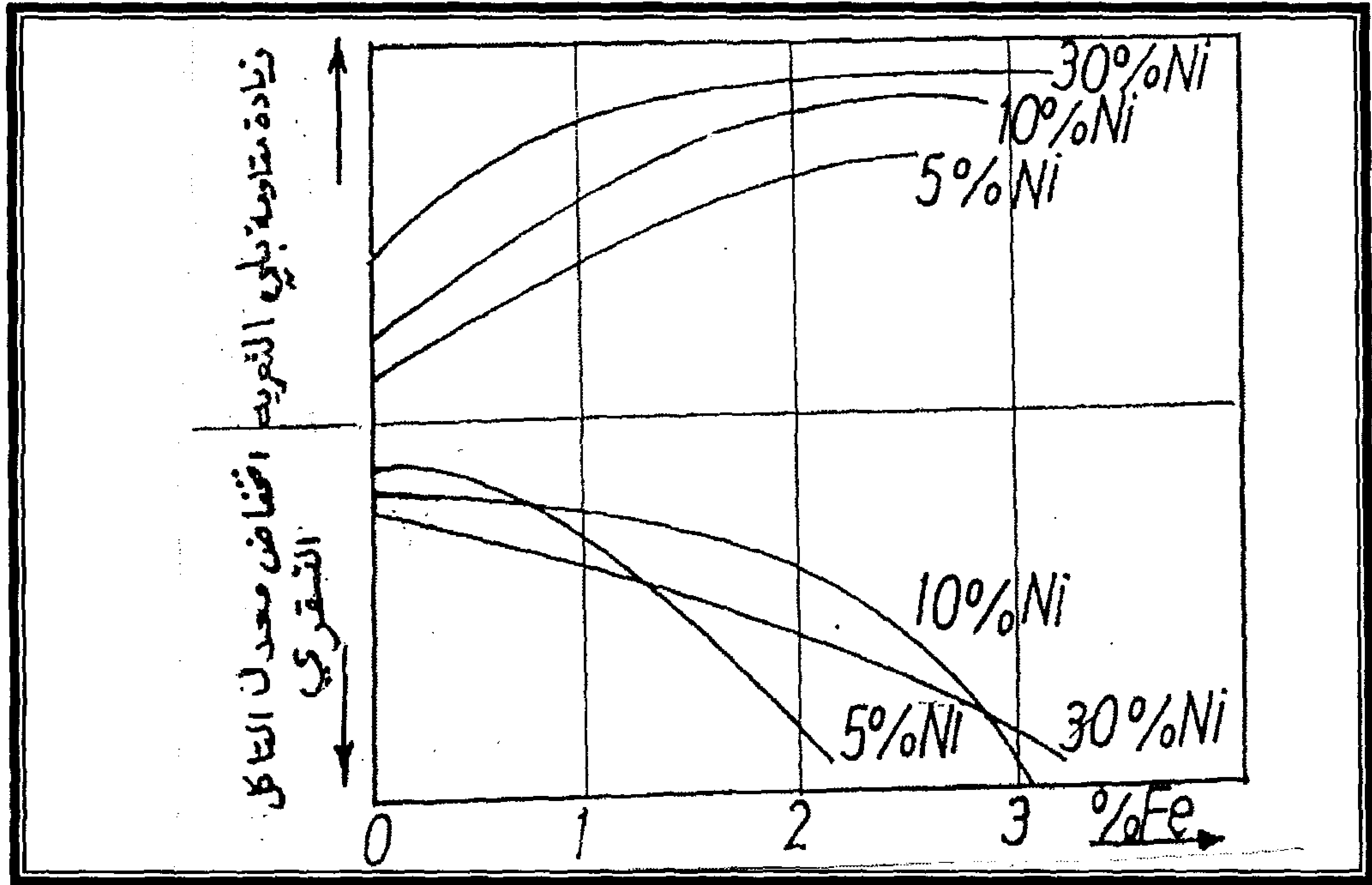
4- 5- 1 انابيب نقل الماء

استخدمت انابيب النحاس قبل عدة عقود في نقل وتوزيع الماء داخل المباني السكنية والخدمية، وفي فترة ساد استخدامها في الولايات المتحدة وبريطانيا والدول الاوربية واليابان، ولم تؤشر إلا حالات محدودة من التاكل بالمقارنة مع حجم الانابيب المستخدم.

اما اهم المشاكل التي ظهرت في الانابيب النحاسية المستخدمة فهي ظاهرة التنقر(Pitting) في المناطق التي استخدمت فيها مياه الابار والعيون الباردة المصفاة. ويظهر هذا العيب بصورة واضحة في الانابيب الملدنة (Annealed) والانابيب النصف مصلدة (Halfhard) ويبدو انه اقل حدوثا في الانابيب المسحوبة الصلدة (Hard). ومن مسببات هذا النوع من التاكل هو وجود الكاربون المتخلف بعد عمليات التلدين ولذلك يجب تنظيف سطوح الانابيب قبل عملية التلدين من بقايا الزيوت اي قبل ادخالها في فرن التلدين.

4- 5- 2 انابيب المكثفات والمبادلات الحرارية

يحصل التنقر في هذا النوع من الانابيب بسبب بقايا الكربون على سطح الانبوب ايضا. وهذا النوع من الانابيب غالبا ما يكون ذا طول محدد، وكلما كان الانبوب اطول وقطره الداخلي اصغركلما زاد الخطر الناجم من احتمال تاكسد السطح الداخلي للانبوب اثناء عملية التلدين بسبب الاوكسجين المحصورداخل الانبوب. وقد ظهرت بعض المشاكل عند استخدام الانابيب المصنعة من البراص(30-70) وسبائك البراص-المنيوم. بسبب التاكل الناتج من الاجهادات الداخلية وعملية فقدان الخارصين(Dezincification) من السبيكة. وبعد دراسات عديدة تم حصر هذه المشاكل وتحديدها ومن ثم تجنب حدوثها. فيستخدم الان البراص(30-70) في استعمالات الماء النقي وبراص الالمنيوم في استعمالات مياه البحر. اما بالنسبة للانابيب المصنعة من النحاس نيكل فان لنسبة الحديد في السبيكة اثر كبير في عملية التاكل التي تحصل في الانابيب ويبين الشكل(4-21) انخفاض معدل التاكل النقري مع زيادة نسبة الحديد في السبيكة وارتفاع مقاومة البلي لها في ان واحد.



شكل (4 – 21)

تأثير نسبة الحديد في سبيكة النحاس – نيكل على مقاومة التآكل و التعرية.

ومن اجل حماية سطح الانابيب المصنعة من براص الالمنيوم من التاكل يضاف قليلا من محلول كبريتات الحديدوز الى ماء التبريد وبانتظام وبمعدل جزء واحد من المليون(1ppm) لكل ساعة عمل، وهي وان كانت معالجة مكلفة ولكنها اثبتت نجاحا في محطات الطاقة وفي السفن البحرية. واكثر سبيكة ملائمة لهذا الغرض (للمبادلات الحرارية والمكثفات) سواء في السفن أو محطات الطاقة هي السبيكة (CuNi30Fe2Mn2)أي التي تحتوي 2Mn%، 2%Fe ، 30%Ni والمتبقي هو النحاس.

4- 5- 3 خطوط الانابيب في مياه البحر وفي الغواصات:

تستخدم انابيب براص الالمنيوم والنحاس نيكل(CuNi10) على شكل الواح في السفن لاغراض متعددة تشمل انظمة تدوير مياه البحر(Sea water system circulating) والانظمة الصحية(Sanitary System) و انظمة السيطرة الهيدرولية والنيوماتية (الهوائية)، وخطوط الازالة (Stripping lines) في مخازن الزيوت. وفي معظم التطبيقات في اجزاء الغواصات تفضل سبائك نحاس – نيكل، فعلى سبيل المثال، تستخدم لخطوط نقل مياه البحر سبيكة(CuNi30).

وهناك عدد كبير من التطبيقات الاخرى لانابيب النحاس وسبائكه، فهي تستخدم في الصناعات النفطية والبتروكيميائية والكيميائية وصناعة السكر، اضافة الى محطات تقطير مياه البحر وفي اجهزة التكييف والتبريد. وكذلك في الموصلات المجوفة (Hollow Conductors) التي تدخل في اجزاء المحركات والافران والاجهزة الاخرى كملفات كهربائية قابلة للتبريد.

4- 6 الاسلاك النحاسية (Copper wires)

استخدمت الاسلاك النحاسية منذ فجر التاريخ وحسب اللقى الاثارية، حيث كان قدماء البابليين والمصريين و السومريين ماهرين في صناعة الاسلاك النحاسية لاغراض الحلي والزخارف والزينة. لقد تم تطوير عمليات سحب الاسلاك خلال العصور الوسطى. وعند اكتشاف الكهربائية سنة1847 برزت الحاجة الى الاسلاك النحاسية الطويلة وفي سنة 1850 استخدمت الاسلاك النحاسية للربط بين بريطانيا وفرنسا عبر المحيط. وفي بداية القرن العشرين ظلت عمليات سحب الاسلاك تجرى باستخدام ماكنة السحب ذات القالب الواحد (Bull Block) وفي سنة 1900 استخدمت مكائن سحب الاسلاك متعددة القوالب، و في سنة 1920 تم استخدام قوالب كاربيدية (Tungsten carbides) والتي اعطت عمرا اطول وامكانية افضل للسحب.



4- 6- 1 طرائق تصنيع الاسلاك النحاسية:

1. تصنيع خامة الاسلاك النحاسية بالاقطار الاولية.
2. عمليات سحب الاسلاك النحاسية.

تصنع الخامة الاساسية للاسلاك النحاسية (Drawing Stock) والتي تمثل المادة الاولية لعمليات السحب اللاحقة بالطرائق الاتية:

أ. الدرفلة (Rolling)،

وتمثل هذه الطريقة التقليدية بعملية درفلة حارة للخامة النحاسية (Wire bar) حيث تسخن الى درجة حرارة اعلى من 925°C في ظروف اعتيادية ثم يدرفل بنظام الدرفلة المستمرة (Continuous Rolling Mill) ضمن سلسلة من مراحل التغيير في المقطع والى حد الوصول الى القطر المحدد حسب المسار التكنولوجي والذي يتراوح بين($6 - 22mm^2$)، ثم يلف هذا المنتج على شكل ملفات (Coils) وتجرى لها عملية غسل لازالة الاكسدة الناتجة جراء الدرفلة الحارة، ويمكن ان تصل انتاجية هذا النوع من المكائن الى (30 ton/h) اما اهم مساوىء هذه العملية فهي:

1- تكاليف انشاء المعدات كبيرة (تحتاج الى راس مال كبير) بالمقارنة مع تكاليف التشغيل المتعارف عليها للاسلاك.

2- قصر طول المنتج المصنع بهذه الطريقة ومن ثم الاحتياج الى عملية اللحام، ولمنطقة اللحام مساوىء باعتبارها منطقة تكثر فيها العيوب ومن ثم تكون ضعيفة اثناء عملية السحب.

3- عدم ملائمة مثل هذه الاسلاك لبعض التطبيقات الخاصة.

ب- السباكة المستمرة(Continuous Casting)

تم تشغيل اول مصنع في الولايات المتحدة الامريكية لانتاج مادة الاسلاك الخام (Wire bars) سنة 1963،حيث تم انتاجها في عدة شركات متنافسة وكل بطريقته حيث

تتشابه من بعض الجوانب وتختلف من جوانب اخرى فيما بينها. وفيما ياتي ملخص لثلاث طرائق استخدمت في ثلاث شركات مشهورة وهي:

1- تصنيع اسلاك النحاس في شركة اسلاك الجنوب(South Wires Co.) حيث يتم سكب النحاس المنصهر بين مدرفلتين(اسطوانتين) ذواتا اخدود (مقعرتين) ومصنعتين من الفولاذ، يتم تبريد المعدن اثناء دوران الاسطوانتين برش تيار ماء مستمر عليه وهناك اسطوانات (مدرفلات) تساعد على سحب النحاس المتصلب على التقدم والخروج من بين اخدود الاسطوانات. يتم فيما بعد الغسل والاعداد للدرفلة اللاحقة والتي يتم خلالها تقليل مقاس المقطع حتى الوصول الى المقطع المطلوب. ثم يعد المنتج على شكل لفات جاهزة للتسويق.

2- التصنيع في شركة جي.اي.ديب فورم (J.A.Deep form co.)، تم ابتكار هذه الطريقة سنة 1964 وتتلخص باخذ قضيب من النحاس بقطر حوالي 9 mmوإمراره خلال حوض يحتوي على منصهر النحاس النقي وبمعدل ثابت. حيث يمثل هذا قضيب البذار(Seed rod) فيترسب النحاس على سطح القضيب بصورة منتظمة مؤديا الى زيادة قطره والذي يصل عند خروجه من الحوض الى16.5mm ومن ثم يتم درفلة القضيب الناتج في ماكنة ثنائية (2-Stand Mill) الى القطر المطلوب ثم يبرد ويتم لفه على شكل بكرات جاهزة للتسويق. وبصفة عامة فان العملية تجرى عند ظروف مسيطر عليها بصورة دقيقة. وتستخدم هذه الطريقة لانتاج الاسلاك الدقيقة جدا حيث تصل الانتاجية الى حوالي عشرة اطنان في الساعة الواحدة.

3- طريقة اوتوكمبه (Auto Kumpu)، وهذه الطريقة مشابهة لعملية السباكة المستمرة الافقية (Horizontal Continuous Casting) حيث يتم فيها سحب المعدن الخارج من القالب الكرافيتي بعد تصلبه، وفيها تمتد احدى نهايتي القالب الى داخل المعدن المنصهر والنهاية الثانية تحاط بنظام تبريد بالماء (Water Jacket) وتختلف هذه الطريقة في ان اتجاه سحب المعدن الخارج يكون نحو الاعلى. وتصل

الانتاجية عندما يكون القالب المستخدم ذا اثني عشر فتحة الى حوالي اربعة عشر الف طن سنويا.

4- 6- 2 سحب الاسلاك (Wire Drawing)

تستخدم ماكنة سحب الاسلاك احادية القالب (Pull Block) وبسرعة سحب تتراوح بين (1-2.5m/s) وباستخدام شحم حيواني كمادة تزييت، ويكون قالب السحب اما من النوع الكاربيدي (Tungsten Carbide) او الفولاذ الخاص المصلد، كما وتستخدم مكائن السحب المتعددة القوالب والتي تكون فيها القوالب متعاقبة من حيث اقطارها ابتداء بالقالب ذي القياس الاكبر وحتى القالب ذي القطر الاصغر وحسب امكانية المعدن على تحمل التشكيل البارد بهذاالاسلوب. اما المادة الاساسية المستخدمة للانتاج فهي الاسلاك الخام والتي تصنّع، كما ورد سابقا، بعمليات الدرفلة اوالسباكة المستمرة اوبعمليات البثق. ومن اجل استمرارعملية السحب يتم تدبيب بداية سلك الملف الخام ومن ثم ادخاله في القالب وبعدئذ تربط نهاية سلك الملف الاول بالذي يليه بوساطة اللحام ويتم امرار السلك من قالب الى اخر حتى اختزال القطرمن (8 .3mm الى 2mm)، على سبيل المثال، وبسرعة سحب تصل الى 2.5m/s وبنفس الطريقة لكن بمكائن اصغر يمكن الحصول على اسلاك ذات اقطار صغيرة جدا. ويصل عدد القوالب المطلوبة للحصول على سلك قطره 0 .5mm الى حوالي 20 قالب.

ويجب تزييت القوالب في جميع الاحوال من اجل تقليل بلي (Wear) القالب والاحتكاك وزيادة عمره والحصول على سطح صقيل للسلك المنتج. والسائل المتعارف عليه والمستخدم لهذه الغاية هو مستحلب من الصابون والشحم في الماء (Soap and Fat emulsion) بحيث توجد احواض خاصة في الماكنة يتم ضخ المحلول منها وتوزيعه على جميع القوالب. ويصل تركيزالمحلول الى 7% للقوالب الاولية و3% للقوالب النهائية (ذات الاقطار الصغيرة). وقد استخدمت في الاونة الاخيرة مزيتات صناعية (Synthetic lubricants) لهذا الغرض.

ويمكن الاستمرار بسحب الاسلاك النحاسية الى نسب عالية جدا تصل الى 99% ولكن يجب اجراء عملية التلدين بعد نسبة تشكيل (تخفيض في المقطع) 90% بسبب تصلد المعدن انفعاليا (Strain hardening)ومن ثم نقصان كبير في مطيليته. تتم عملية التلدين بامرار السلك، بعد قوالب السحب، على نقاط تماس كهربائي تسمح بمرور تيار كهربائي كاف لرفع درجة حرارة السلك الى درجة حرارة التلدين المطلوبة وخلال وقت قصير ليكون السلك ملدنا، وهناك تقنية اخرى وذلك بامرارالسلك خلال افران (او فرن) معينة وذات اجواء واقية حيث يمر المعدن وبسرعة محسوبة داخلها على اسطوانات متدحرجة فيكون زمن التلدين ثابتاً في هذه الحالة.

الفصل الخامس

الدرفلة (الدحو)

Rolling

الفصل الخامس

الدرفلة (الدحو) Rolling

المقدمة :

تمثل عملية الدرفلة احدى طرائق التشكيل المهمة التي تجرى على المعدن لتحدث تشويها في البنية البلورية والتي ينتج عنها تغييرا في خواص المعدن اضافة الى التغيير في شكله للحصول على مقاطع مختلفة ذات خواص وابعاد معينة. ويمثل التشكيل،بصفة عامة، اوسع عملية تصنيع بين جميع طرائق التصنيع الاخرى للمعادن لما تتميزبه من طبيعة الاستمرارية في العملية وارتفاع نسبة الانتاج وامكانية تصنيع انواع واسعة من المتنجات وبنوعية عالية الجودة. لقد ساعدت عمليات الدرفلة على تقليل اوزان المكائن والاجهزة وذلك عن طريق استخدام المقاطع المسطحة والصفائح بدلا عن مصبوبات المعدن الثقيلة اضافة الى التوفير الاقتصادي عن طريق التقليل من كمية المعدن المستخدم وسهولة الاستخدام.

اما تكنولوجيا التشويه اللدن للمعدن بعمليات الدرفلة فهي كانت ولاتزال تمثل موضوع غزير وواسع للبحث والتطويرسواء كان من ناحية المكائن والمعدات المستخدمة اومن ناحية المعدن نفسه وصولا الى الانتاج الافضل والاكثر اقتصادية في التشكيل والانتاج.

وتستخدم لعمليات الدرفلة المسبوكات المسطحة (Cakes)، حيث يتم تخفيض السمك بالدرفلة وصولا الى السمك النهائي المطلوب حيث يقابل ذلك زيادة في طول القطعة وعرضها والى حد ما، وغالبا ماتختزل الزيادة في العرض باستخدام مدرفلات طرفية (Edge rolls) وتتولد الزيادة في الطول لعدم تغيير كتلة المعدن المستخدم. وتتم عملية الدرفلة باسلوبين في الغالب هما الدرفلة الحارة (Hot rolling) والدرفلة الباردة (Cold rolling) وسيتم ايضاح ذلك مع بيان انواع المكائن المستخدمة ومواصفاتها.

2-5 الدرفلة الحارة (Hot Rolling)

تمثل عملية الدرفلة الحارة القسم الاكبر من عمليات الدرفلة من حيث الطاقة الانتاجية وامكانية اختزال السمك بصورة كبيرة وذلك لكون المعدن المراد تشكيله يسخن الى درجات حرارة عالية (اعلى من نصف الدرجة الحرارية المطلقة لانصهار المعدن) مما يوفر انظمة انزلاق (Slip Systems) بلورية اكثرومن ثم قابلية عالية على التشكيل. ويتم في عملية الدرفلة الحارة تخفيض سمك المعدن خلال مراحل (Passes) تشكيلية متعددة اعتمادا على طاقة الماكنة واعظم حمل لها ودرجة حرارة المعدن والتي يلزم ان تكون اعلى من درجة حرارة اعادة تبلور(Recrystalization Temperature) السبيكة. هذه الدرجة هي بحدود(0.4- 0.5Tm) حيث تمثل Tm درجة انصهارالسبيكة المطلقة. اما اذا انخفضت درجة حرارة السبيكة عن ذلك قبل انتهاء عملية الدرفلة فان التشكيل سوف لا يرقى الى التشكيل الحار ويسمى في بعض الاحيان بالتشكيل الدافيء (Warm Deformation) وعندها تبدا خواص المعدن بالتغيير نحو الحالة الباردة اي الصلدة. وتمثل درجة حرارة اعادة التبلور الحد الفاصل لطبيعة التشكيل الذي يجرى على المعدن من حالة التشكيل على الحار الى التشكيل البارد حيث لا تتغيرخواص المعدن عند التشكيل على الحاروذلك لقابلية المعدن على اعادة تبلوره(نشوء بلورات جديدة خالية من التشويه الذي تم نتيجة لعملية التشكيل) حيث يصبح المعدن وكانه في حالة ملدنة. لايمكن تحديد الدرجة الحرارية المطلقة لاعادة التبلوروذلك لاعتمادها على عدة عوامل اهمها كمية الشوائب الموجودة في السبيكة ومقدارالتشكيل ولذا تكون ضمن مدى معين. وقد يؤثر هذا المدى على بعض مخططات التوازن الطوري. ويكون بحدود (510 -580℃) في نظام نحاس- خارصين.

وفي بعض الحالات الخاصة التي يشكل المعدن فيها عند درجة تكون بين درجة حرارة اعادة التبلور الخاصة به ودرجة الحرارة المنخفضة نسبيا اي درجة حرارة التشكيل على البارد وفي هذه الحالة تسمى بالدرفلة على الدافيء (Warm Rolling) .وعند ذلك تكون خواص المعدن المشكل على الدافيء بين خواص المعدن المشكل على الحار

وخواصه على البارد. فعلى سبيل المثال، في حالة النحاس فان درجة حرارة اعادة تبلوره بين (510-580°C) فتكون حالة الدرفلة على الدافيء هي بحدود (250-450°C) تقريبا فعند اقل من ذلك تسمى درفلة على البارد. وكلما زادت كمية الشوائب في السبيكة ارتفعت درجة حرارة اعادة تبلورها وكلما زادت نسبة التشويه البارد للسبيكة قلت درجة حرارة اعادة التبلور الى حد ما. تجرى عملية الدرفلة الحارة للنحاس وسبائكه غالبا في ماكنة واحدة وتستخدم احيانا مكائن متعددة تكون غالبا ثنائية المدرفلات للماكنة الواحدة وتكون احيانا ذات مدرفلات متنوعة خصوصا في المكائن المتعددة والتي سيرد تفصيلها فيما بعد. وتكون ماكنة الدرفلة باتجاهين اي قابلة للدرفلة بالاتجاه المعاكس (Reversible Machine)حيث يمكن درفلة المعدن بالاتجاهين. اما بالنسبة للعدد المستخدمة فهي عبارة عن مدرفلتين اسطوانيتين مصنعة من فولاذ العُدد المُعامل حراريا بحيث يعطي صلادة عالية للمنطقة المعاملة من الاسطوانة (Roll) والتي تختلف صلادتها حسب استخدامها في عملية الدرفلة الحارة او الباردة ويكون سمك المنطقة المعاملة من الاسطوانة حوالي 15 mm. تدار المدرفلات عن طريق محور دوران ينقل الحركة من صندوق تروس (Gear Box) مرتبط بالمحرك الرئيس.

تتم عملية تبريد المدرفلات بوساطة سائل مستحلب (Emulsion) والذي يتكون في العادة من(3 -5%) زيت مضافا اليه ماء فيه مادة تساعد على تجانس المحلول. ولايستخدم الزيت لوحده كسائل تبريد وذلك لارتفاع درجة حرارة المعدن اضافة لمتطلبات التبريد الكفوء للمدرفلات مع متطلبات الاحتكاك العالي للسمك الكبير الداخل الى ماكنة الدرفلة. ومما تقدم يمكن ان نستنتج العوامل المؤثرة على عملية الدرفلة هي :

1- نوع المعدن المراد درفلته ودرجة حرارته وسمكه عند دخوله الماكنة وخشونة سطحه.
2- قطر المدرفلات المستخدمة وخشونتها.
3- نوع سائل التبريد المستخدم.
4- طاقة الماكنة وقدرة المحرك الرئيس.

5- 2- 1 تسخين المسبوكة:

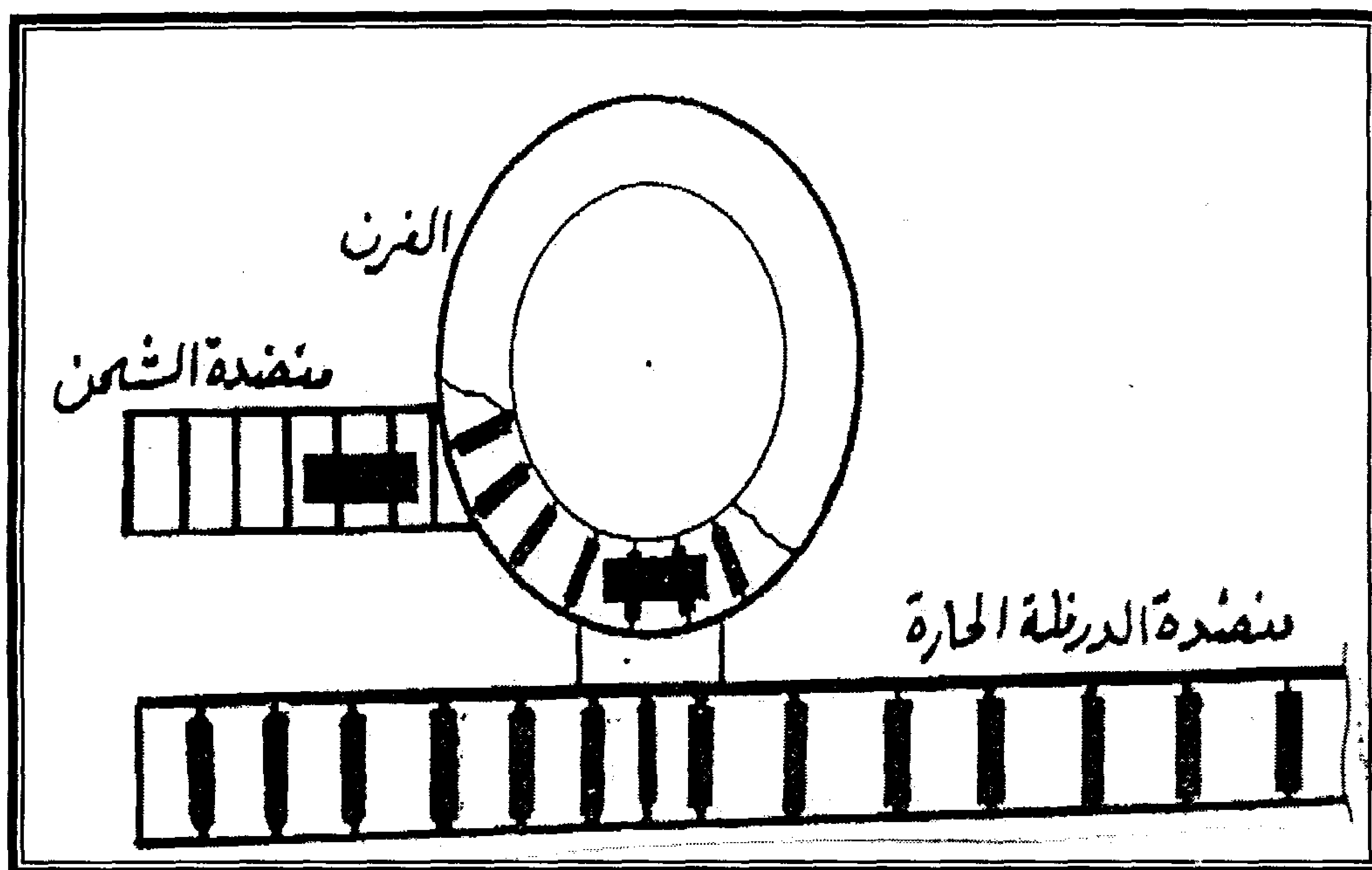
تتطلب عملية الدرفلة الحارة تسخين المسبوكة الى درجة حرارة التشكيل الحار المطلوبة والتي تكون بحدود (0.95 - 0.8) من درجة الحرارة المئوية لانصهارالمعدن. ولكون عملية التسخين معقدة في بعض الاحيان لذلك تجهز الافران باجهزة قياس وسيطرة اضافة الى امكانية تشغيلها يدويا وآليا (اوتوماتيكيا) ويجب ان تكون افران تسخين المسبوكات قريبة من مكائن الدرفلة بحيث يتم اخراج المسبوكات من الفرن مباشرة ليتم ادخالها الى ماكنة الدرفلة بوقت قصيرضمانا لعدم فقدان المسبوكة لدرجة حرارتها المطلوبة ولهذا تصمم الافران بتوافق مباشرمع منضدة الدرفلة.

يجرى تسخين المسبوكات على مراحل داخل فرن توزع فيه درجات الحرارة بانتظام، ويعتمد ذلك على نوع الفرن المستخدم وعادة ما تكون افران التسخين كبيرة وعريضة لتلائم ابعاد المسبوكات المستخدمة لعمليات الدرفلة، الا في بعض الانواع الخاصة، أضافة الى الانتاجية الاكبر. اما افران التسخين المستخدمة فتنقسم الى:

1- إعتمادا على حركة المسبوكات داخل الفرن وكما ياتي:

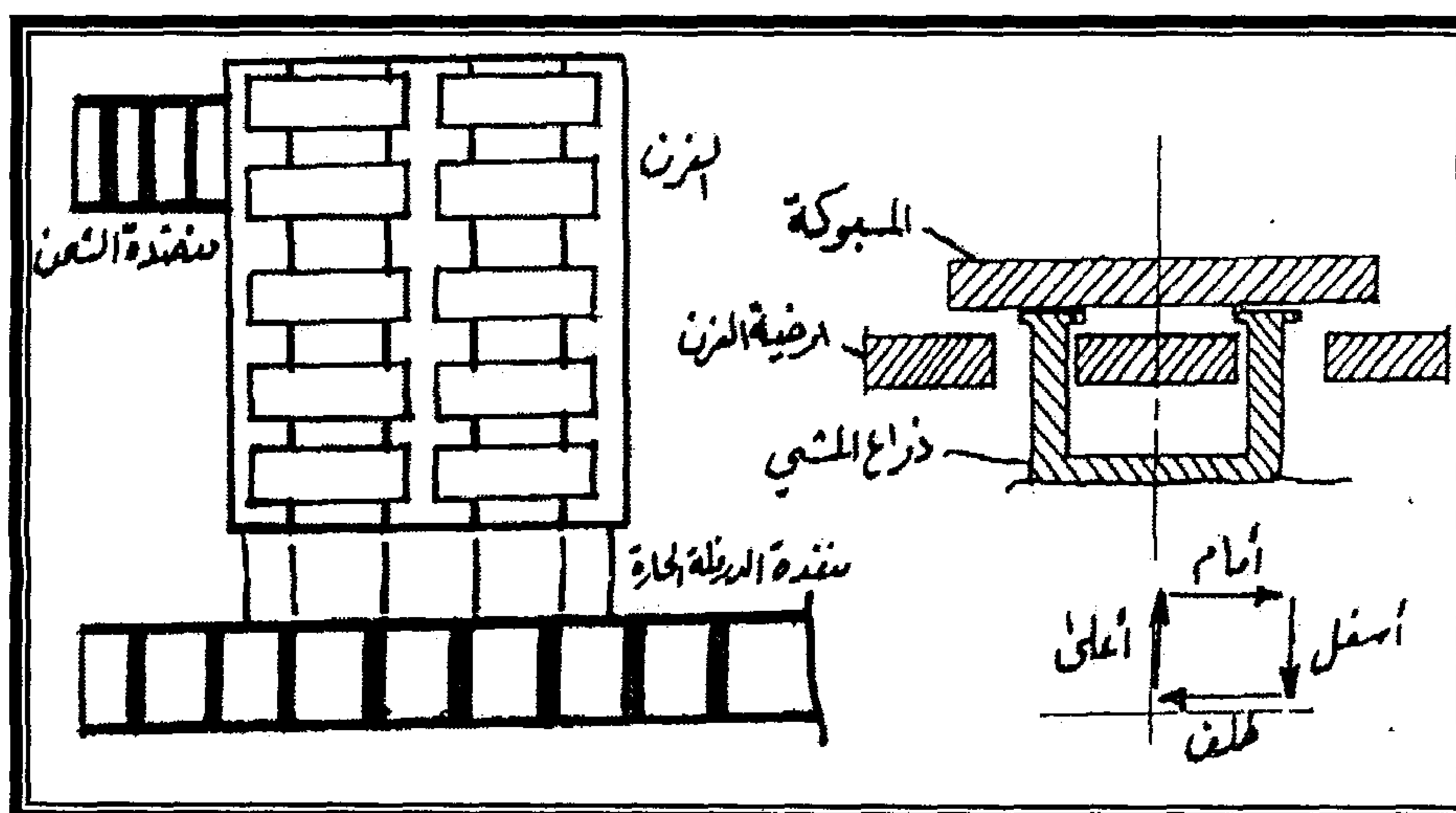
أ- الافران الدوارة (Rotary Furnaces) وفيها يتم انتقال المسبوكات داخل الفرن بوساطة اسطوانات وبشكل دائري وتستخدم بصورة خاصة للمسبوكات الصغيرة نسبيا كما في الشكل(5-1).

ب- افران ذات اذرع سير(Walking Beam Furnaces) وتستخدم للمسبوكات الكبيرة حيث يتم انتقال المسبوكة الى الامام فقط بوساطة اذرع تتحرك هيدروليكيا الى الاعلى ثم الى الامام والاسفل حيث تسند المسبوكة على ارضية الفرن ومن ثم تعود الاذرع الى الوضع الاول. ويكون مقدار المسافة المتحركة اكبر قليلا من عرض المسبوكة. وتستخدم في بعض الافران الحركة الميكانيكية لاذرع السير كما هو موضح في الشكل(5-2).



شكل (5 – 1)

فرن تسخين المسبوكات من النوع الدوار.



شكل (5 - 2)

فرن تسخين المسبوكات نوع الفرن ذو اذرع مشي.

2- بناء على طريقة التسخين وكما ياتي:

ا- الافران الكهربائية، وفيها تستخدم الطاقة الكهربائية للتسخين.

ب- الافران الغازية، وفيها تستخدم المشاعل الغازية لتسخين الفرن.

ج- الافران التي تستخدم الوقود السائل مع الهواء المضغوط.

5- 2- 2 تكنولوجيا التسخين (Haeting Technology)

ان من العوامل الاساسية والمؤثرة في عملية تسخين المسبوكات ما ياتي:

1- درجة الحرارة وتجانسها في الفرن.

2- جو(محيط) الفرن.

3- طريقة انتقال الحرارة الى المسبوكة والتجانس الحراري لها.

تحدد درجة حرارة تسخين المسبوكة ضمن حدود التشكيل الحار للمعدن والمبينة في مخطط التوازن الطوري لنظام النحاس - خارصين حيث تكون أعلى من درجة حرارة اعادة تبلور المسبوكة بكثير، بحيث ان درجة حرارة السبيكة (المعدن) في اخر مرحلة من المراحل المتعددة للدرفلة تبقى أعلى من درجة حرارة التبلور. كما يلزم ان تكون درجة حرارة المعدن لا تصل الى حالة الافراط في التسخين (Over Heating) والتي تؤدي الى حدوث تشقق قي المسبوكة اثناء التشكيل الحار حيث يؤدي الى حالة التمزق الحراري اضافة الى صعوبة التشكيل في المراحل الاخيرة، وقد يؤدي عدم التجانس الحراري في المسبوكة الى حصول اجهادات حرارية تسبب احيانا تمزق المعدن وتشققه بشكل كبير.

ان محيط (جو) الفرن والتكوين الكيميائي للسبيكة لهما اثر كبيرعلى عملية الدرفلة ونوعية المنتج النهائي، وبناء على ذلك فانه قد تحصل اكسدة غير منتظمة او منتظمة محدودة اوغيرمحدودة او اختزال للاكاسيد ناتج عن وجود الهيدروجين، و لذا فان حالة الجو المعتدل هي الافضل وقد يصبح احيانا من الصعب الحصول على مثل هذا الجو. فعلى سبيل المثال، فان سبيكة النحاس- خارصين- منغنيز يجب ان تسخن تحت ظروف مؤكسِدة.

ان سرعة وصول درجة حرارة المسبوكة الى الدرجة المقررة لها يعتمد اساسا على حجم المسبوكة والتوصيلية الحرارية (Thermal Conductivity) لها والسعة الحرارية للفرن.حيث ان سرعة التسخين العالية تعني نقصانا في زمن التشغيل ومن ثم زيادة في الكميات المنتجة.

5- 3 انواع عمليات ومكائن الدرفلة

قبل التطرق لعمليات الدرفلة على البارد، من الجدير ان توضح بعض انواع العمليات التي تجرى في عملية الدرفلة اضافة الى انواع مكائن الدرفلة المستخدمة وتقسيماتها. تقسم عمليات الدرفلة الى عدة اقسام مبنية على اسس مختلفة فمنها على اساس شكل السبيكة او شكل العدة المستخدمة او نوع الماكنة وكما ياتي:

5- 3- 1 عمليات الدرفلة على اساس شكل المنتج

أ- الدرفلة الطولية (Longitudinal Rolling)

وهي احدى عمليات الدرفلة التي تستخدم فيها مدرفلات اسطوانية متوازية مع بعضها ومتناظرة على خط الدوران وتكون حركة المعدن فيها الى الامام والخلف ويكون شكل المنتج فيهامسطحا وسيتم التطرق الى انواعها لاحقا.

ب- درفلة المقاطع (Cross Sectional Rolling)

وتستخدم بصورة خاصة للسبائك الحديدية والالمنيوم التي تستخدم بصورة واسعة وعلى شكل مقاطع مختلفة. وتكون المدرفلات فيها متناظرة على محور الدوران ومحور دوران المعدن في حالة درفلة معدن دائري المقطع.

ج- الدرفلة اللولبية (Screw Rolling)

وفي هذه الطريقة يتحرك المعدن حركتين في نفس الوقت حركة دورانية وحركة الى الامام وتكون المدرفلات فيها متناظرة حول محور الدوران وغير متوازية.

5- 3- 2 عمليات الدرفلة حسب نوع وشكل العدة المستخدمة

ا- الدرفلة المسطحة (Flat Rolling) وتكون المدرفلات فيها اسطوانية مسطحة.

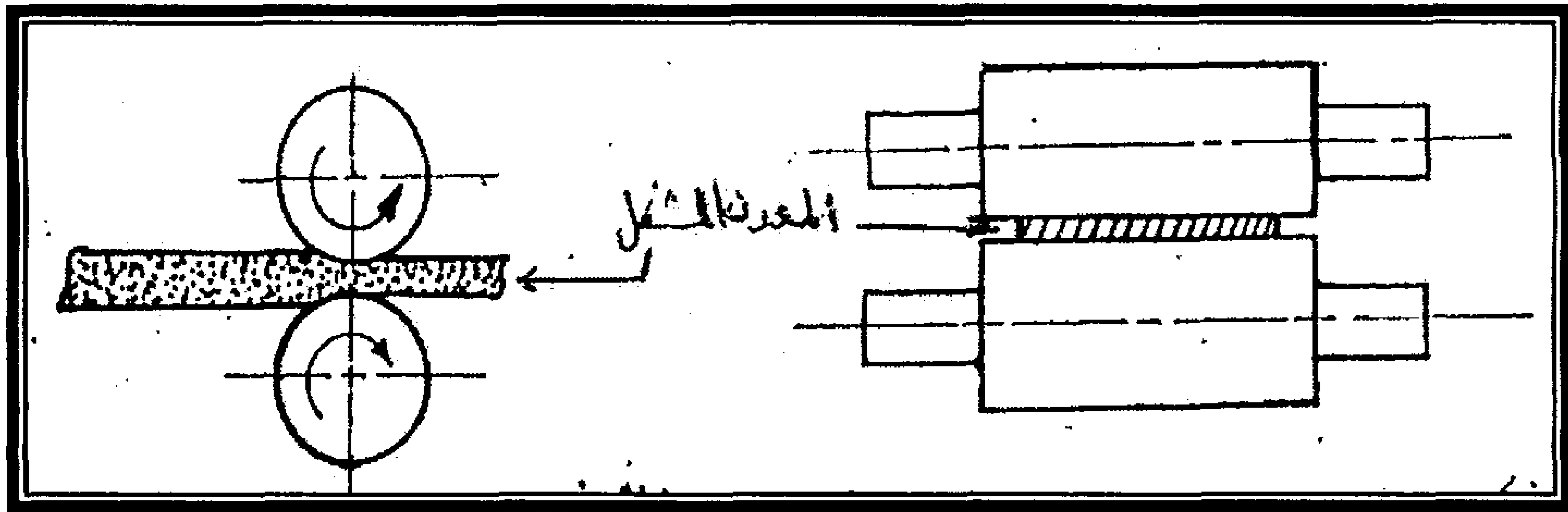
ب- الدرفلة ذات الاخدود (Groove Rolling) وتستخدم فيها المدرفلات التي تشكل اخدودا.

ج- الدرفلة الصقيلة (Polishing Rolling) وتستخدم فيها مدرفلات صقيلة ملساء للمنتج النهائي.

5- 3- 3 وتقسم مكائن الدرفلة ايضا على اساس عدد المدرفلات المستخدمة خصوصا في الدرفلة المسطحة وكالاتي:

أ- ماكنة درفلة ثنائية المدرفلات

وتكون المدرفلتان متساويتان بالقطر والطول ومتوازيتان وذات قطر كبير نسبيا وحسب الاستخدام. حيث تستخدم غالبا في مكائن الدرفلة الحارة وبقطر يتراوح بين(750-800mm) وذلك لمقاومة الحمل الناتج عن عملية الدرفلة.وقد تستخدم في مكائن الدرفلة على البارد للمنتجات الوسطية ذات السمك العالي وليس للمنتجات النهائية ذات السمك القليل، اقل من1mm. ويبين الشكل(5-3) عملية الدرفلة من هذا النوع.

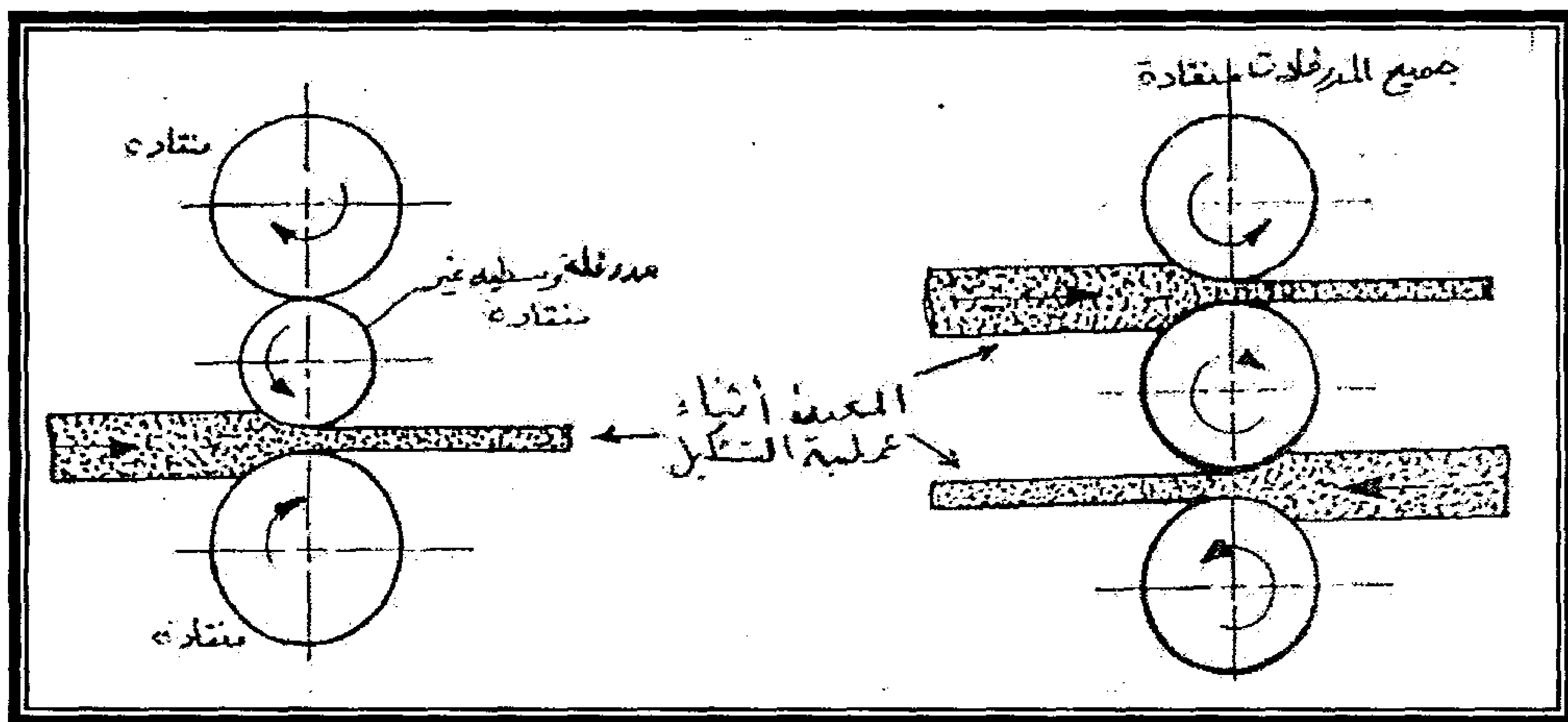


شكل (5 – 3)

عملية الدرفلة بإستخدام مدرفلتين.

ب- ماكنة ثلاثية المدرفلات (Three high Mill)

وتكون على نوعين اما جميعها منقادة (متصلة) بمحرك رئيس او اثنتان منها منقـادة والاخرى تكون اصغر قطرا وغير منقادة. وتستخدم في مكـائن الدرفلـة البـاردة ولانتـاج المقاطع نصف المصنعة. وتحصل في بعض الاحيان اكثر من عمليـة درفلـة واحـدة خـلال مرور القطعة بين المدرفلات حيث يمكن اجراء نسبة عالية مـن التـشكيل.ويمكـن ايـضاح ذلك في الشكل(5-4).



شكل (5 – 4)

ماكنة ثلاثية المدرفلات.

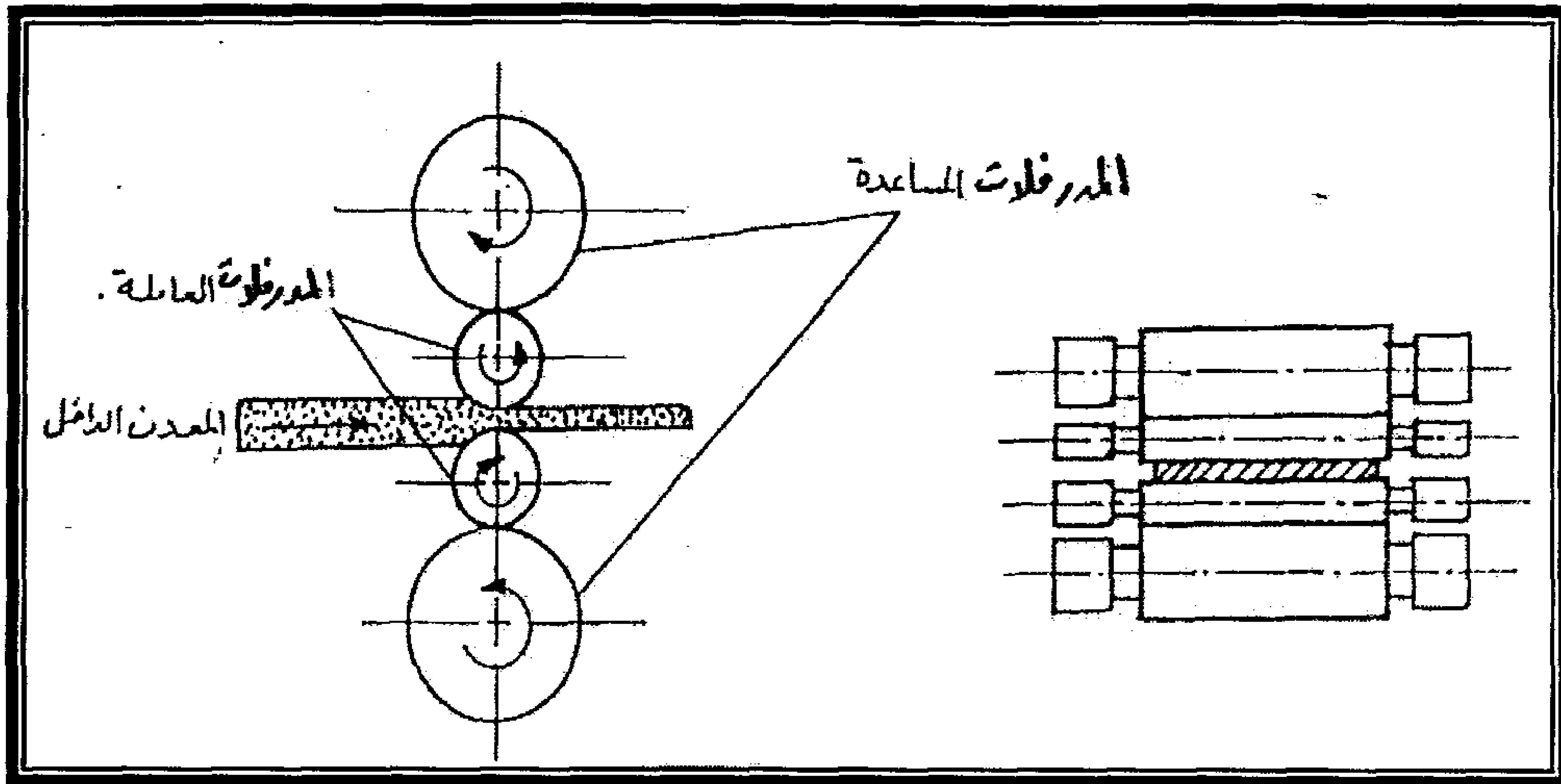
ج- ماكنة درفلة رباعية المدرفلات (Four high mill)

وهي اكثر الانواع شيوعا في الاستخدام في عمليات الدرفلـة المـسطحة (للـشرائح) حيث يستخدم فيها زوجان من المدرفلات. احدهما عامل ويمر المعدن مـن بينهمـا حيـث يتم تخفيض سمكه. وتدار المـدرفلات مـن محـرك رئـيس وتكـون المـدرفلتان متـساويتان بالقطر(اسطوانيتان) لكونهما على تماس مع المعدن.ويكون سمك المعدن بقدر المسافة بين المدرفلتين، وفي حالة وجود اختلاف في قطر المدرفلةعلى مـدى طولهـا فـسوف لا يكـون

سمك المعدن المشكل متجانسا. أما الزوج الاخرمن المدرفلات فيمثل مدرفلتين مساعدتين (الساندتين) (Back-up Rolls). وتكون بالطبع على تماس مع المدرفلتين العاملتين (Working Rolls) حيث تدور بفعل التماس. وتستخدم المدرفلات الساندة لهدفين رئيسين هما:

1- بفعل وجود المدرفلات الساندة فان انحناء المدرفلات العاملة سوف يكون اقل بكثير مما هو عليه لو استخدمت المدرفلات العاملة لوحدها كماكنة ثنائية المدرفلات. ان تقليل الانحناء الناتج بسبب ضغط المعدن على المدرفلات او ما يسمى بحمل الدرفلة (Rolling Load) سيؤدي الى عدم وجود اختلاف كبير في السمك خلال المقطع العرضي للمعدن المشكل الناتج (اي ان الفرق بين سمك المعدن المشكل عند حافتيه ووسطه سيكون قليلا جدا).

2- ان استخدام المدرفلات الساندة يمنحنا القابلية على استخدام مدرفلات ذات قطر اصغر بكثير من قطر المدرفلات الساندة، ينتج عن ذلك امكانية الحصول على سمك قليل جدا للمعدن المشكل بحيث يصل الى (0.05mm) وحسب نوع المعدن و قطر المدرفلات العاملة. ففي النحاس النقي يمكن الحصول على هذا السمك باستخدام ماكنة رباعية المدرفلات ويمكن الحصول على اقل من ذلك لمعدن الالمنيوم النقي على سبيل المثال. وهنا تكون المدرفلات العاملة والساندة متوازية مع بعضها وغالبا ما تكون على محور دوران عمودي واحد الا في بعض الانواع القليلة التي يكون محور دوران المدرفلات العاملة مزاح عن محور المدرفلات الساندة بمسافة قليلة جدا. يبين الشكل(5-5) ترتيب المدرفلات في الماكنة الرباعية.

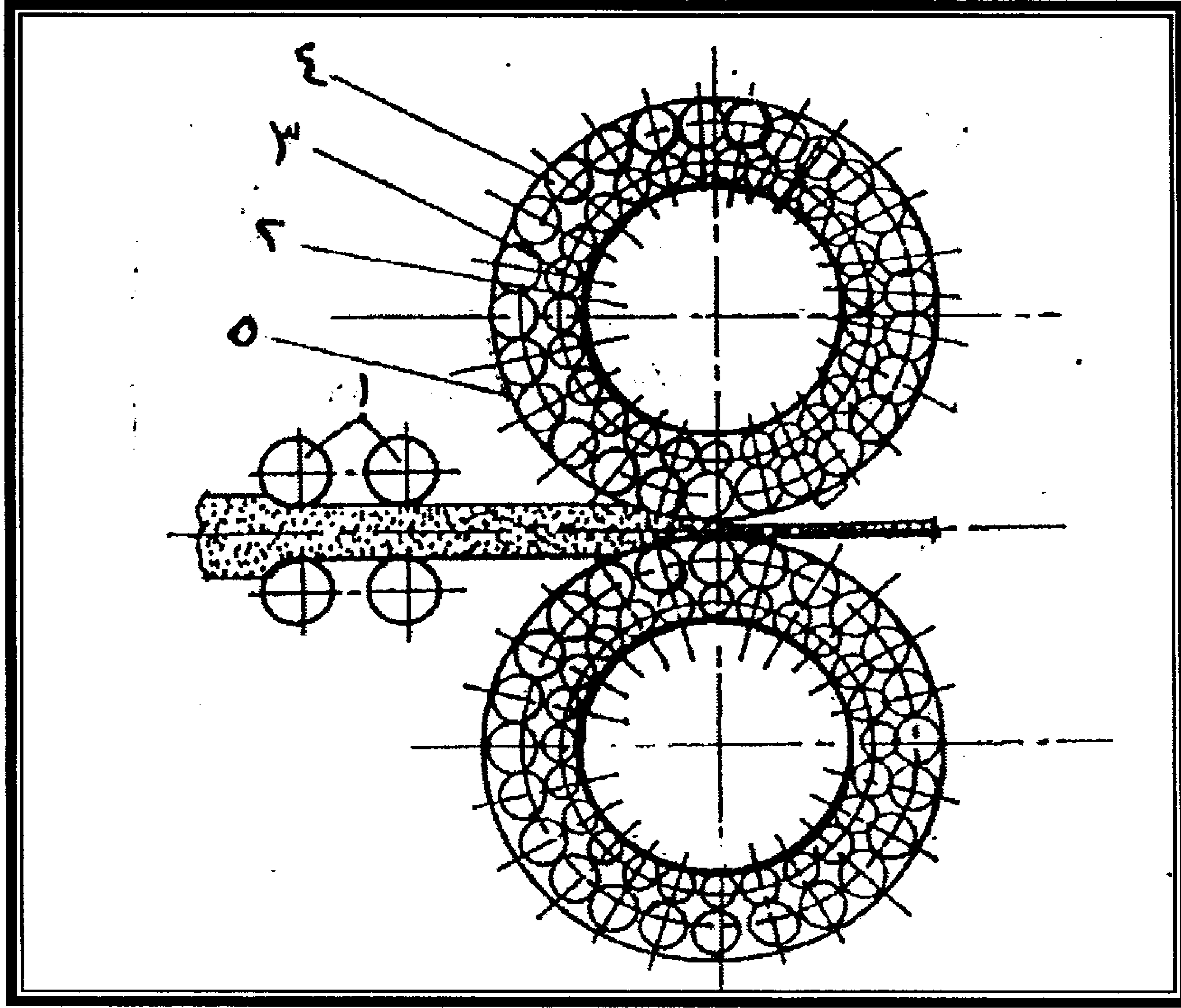


شكل (5 – 5)

مخطط المدرفلات لماكنة رباعية.

د- ماكنة الدرفلة الكوكبية (Planetary rolling mill)

يستخدم هذا النوع من المكائن لدرفلة شرائح بعرض (200-400mm) ولسمك (70-140mm). وتتضمن الماكنة مدرفلات مساعدة بقطرحوالي (820 mm) والتي يركب حولها 24 مدرفلة وسطية و 24 مدرفلة عاملة كما الشكل (5-6). اما قطر مجموعة المدرفلات هذه فحوالي (105 mm) وبشكل قفص دوار. حيث يتم ادخال المعدن المراد تشكيله بسرعة (3.6m/s) تقريبا بوساطة مدرفلات تغذية مثبتة قبل مجموعة المدرفلات الرئيسة. تصل نسبة التشكيل في هذه التقنية الى% 98. وقد تم تطويرها ليمكن درفلة معدن بعرض (750mm) او اكثر.



الشكل (5 – 6)

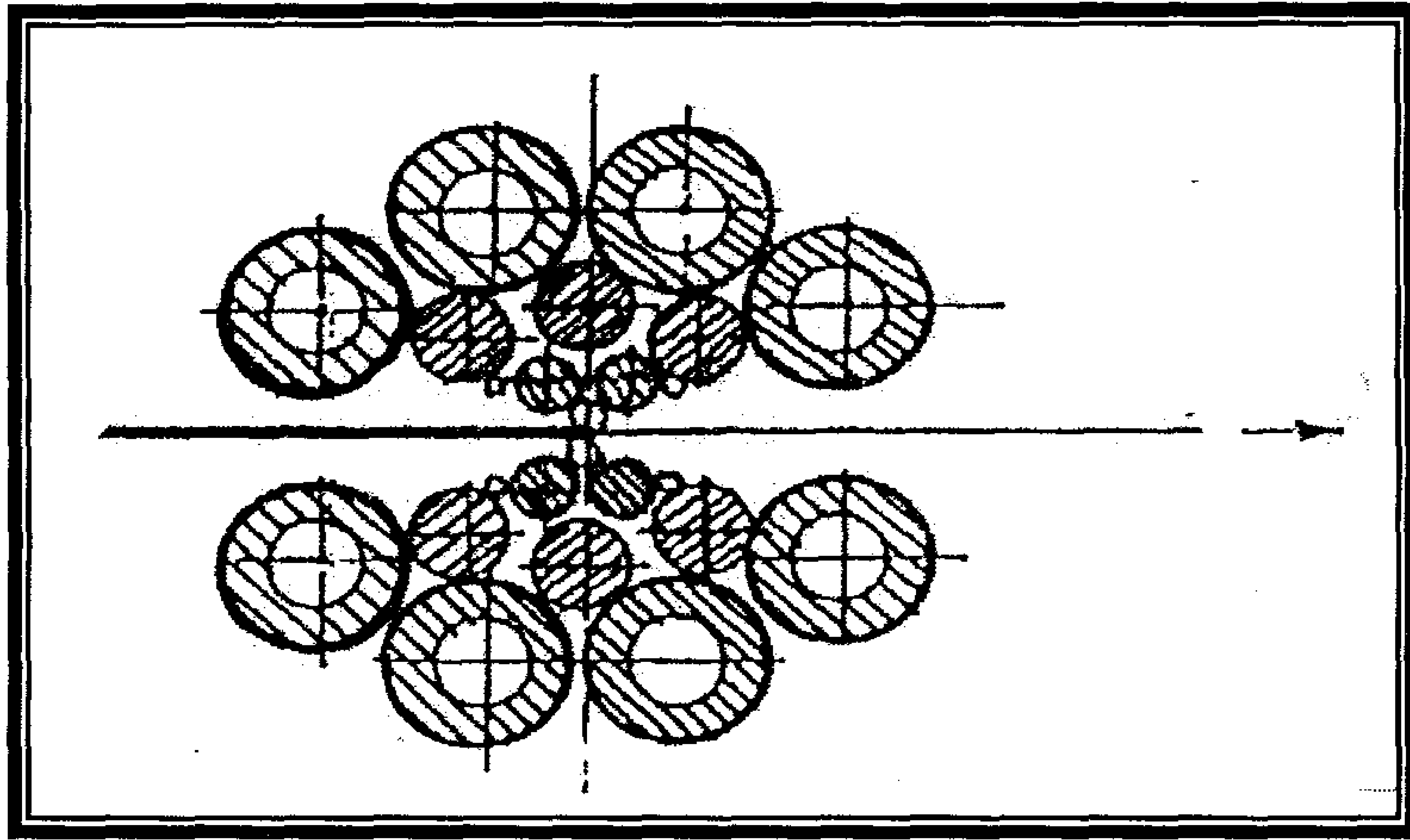
مخطط المدرفلات المستخدمة في الماكنة الكوكبية.

1- مدرفلات دفع المعدن Push rolls
2- مدرفلات مساندة Back-up rolls
3- مدرفلات وسطية Intermediate rolls
4- مدرفلات عاملة Working rolls
5- حلقة بشكل قفص Loop as a cage

هـ- الماكنة متعددة المدرفلات (Multi rolls mill)

تستخدم هذه الانواع من المكائن بصورة رئيسة في درفلة الشرائط ذات السمك القليل جدا(Thin Strips).ومن امثلة هذا النوع الماكنة التي تدعى سندزمر(Sendzimir) المكونة من 20 مدرفلة، وهناك انواع اخرى مصنعة من قبل شركات عدة تختلف

باختلاف عرض المعدن المراد تشكيله. ويصل سمك المعدن المدرفل الى (0.003mm) وبعرض يصل الى (1000mm)، اوبسمك (0.1mm) وعرض يصل الى (mm 1500) و بسرعة درفلة تصل الى (10m/s). وتكون اقطار المدرفلات العاملة بين -3) 55mm) اما اقطار المدرفلات المساعدة فهي بين (38-300mm) كما في الشكل (5 – 7).

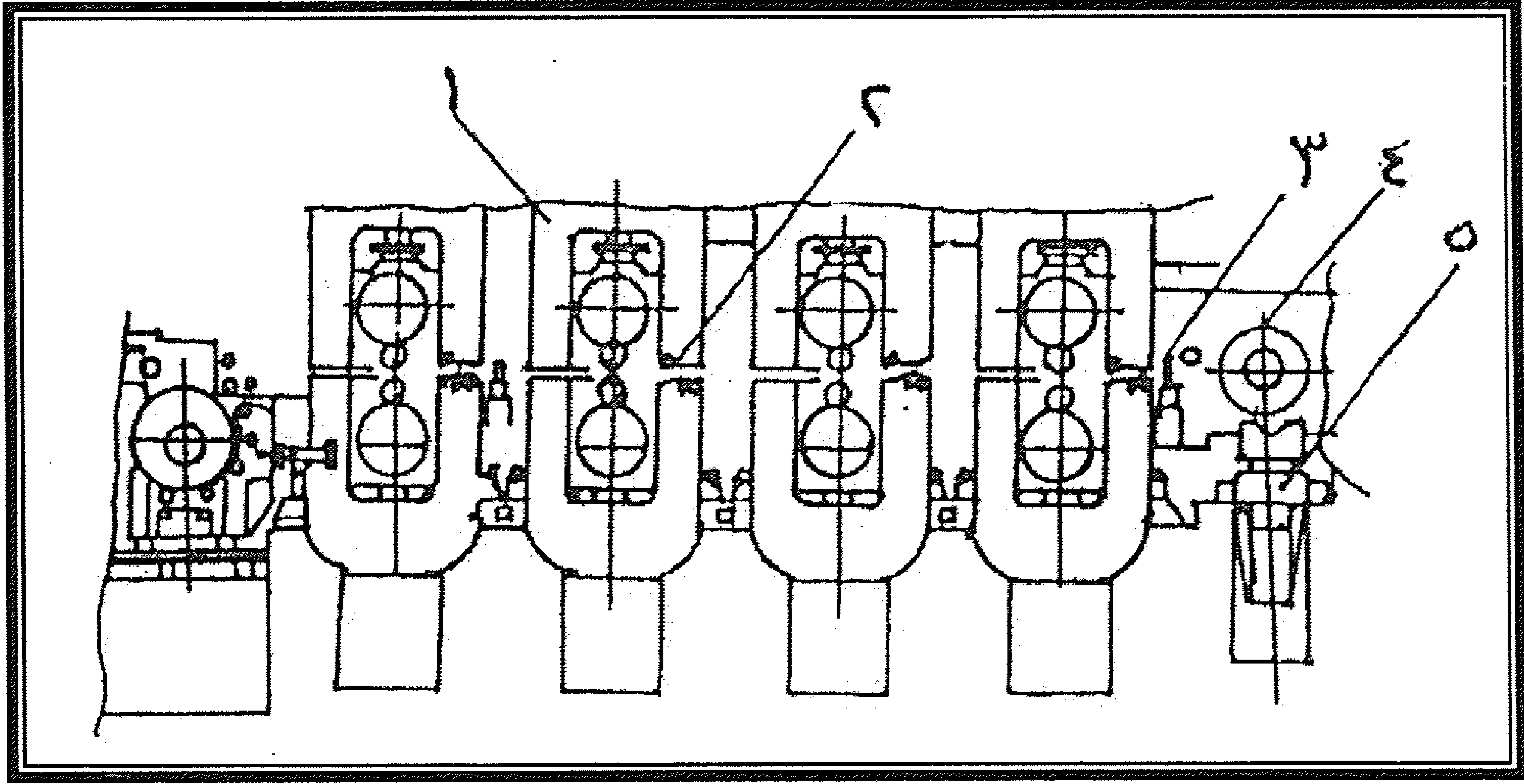


شكل (5 – 7)

ماكنة درفلة متعددة المدرفلات.

و- مكائن درفلة كثيرة العَدد(Multi Stand Mills)

وتمثل عادة مكائن رباعية المدرفلات، وتستخدم فيها بين ماكنتين الى ستة مكائن، وتستخدم في بعض الاحيان ماكنتين من نوع ثنائية المدرفلات الا ان الشائع منها، مكائن رباعية المدرفلات، اما عدد المكائن فيها فهي اما اربعة او خمسة. حيث تتم الدرفلة بعدة مراحل خلال هذا العدد من المكائن وبصورة متواصلة كما هو مبين في الشكل(5–8). اما الاشكال (5–9) الى (5–12) فهي صور فتوغرافية لبعض انواع مكائن الدرفلة المختلفة.



شكل(5-8)

مخطط ماكنة درفلة رباعية العدد و أجزائها الأخرى.

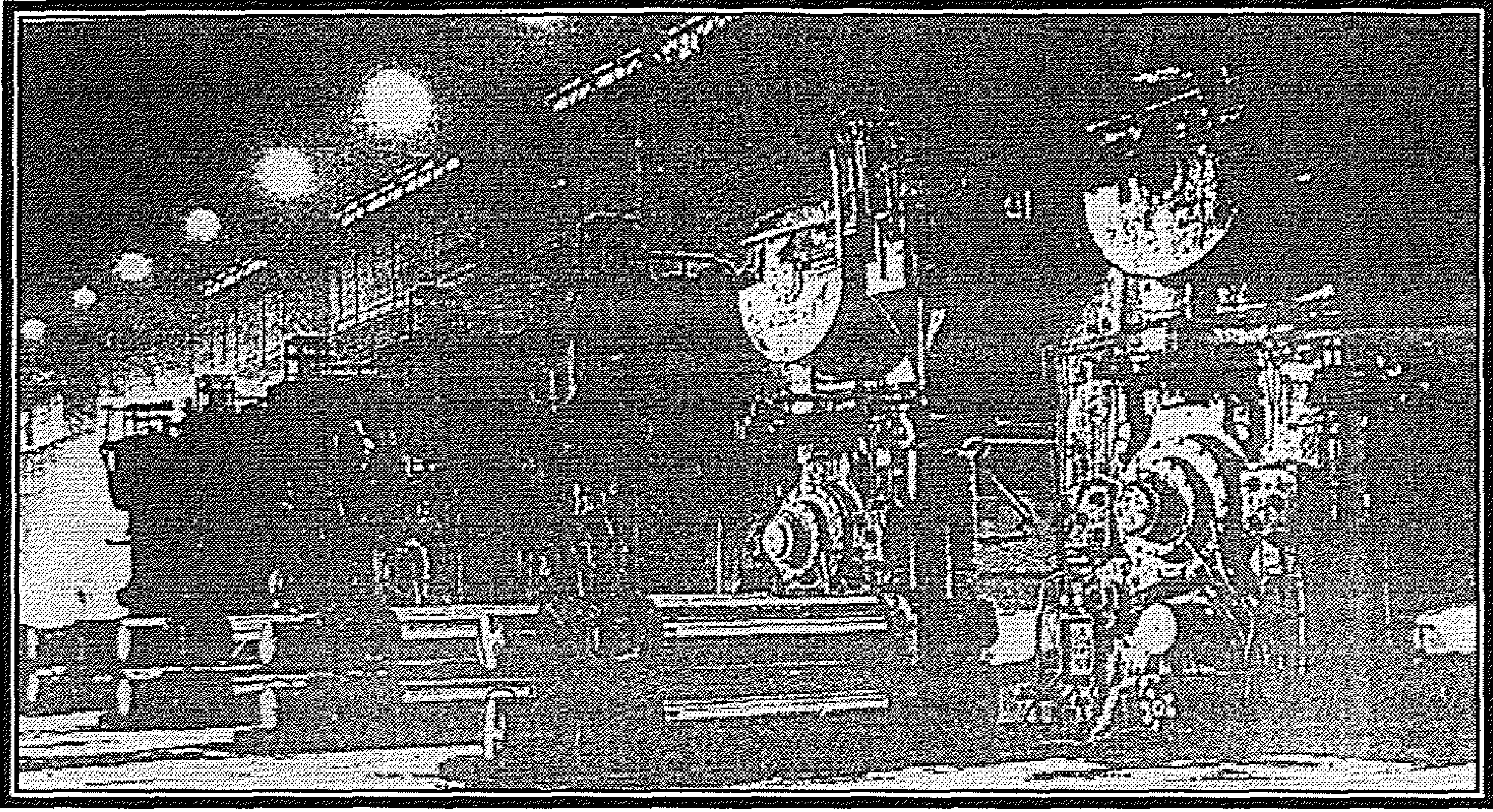
1- جسم الماكنة Mill stand.

2- جهاز قياس الشد بين المكائن.

3- جهاز قياس السمك.

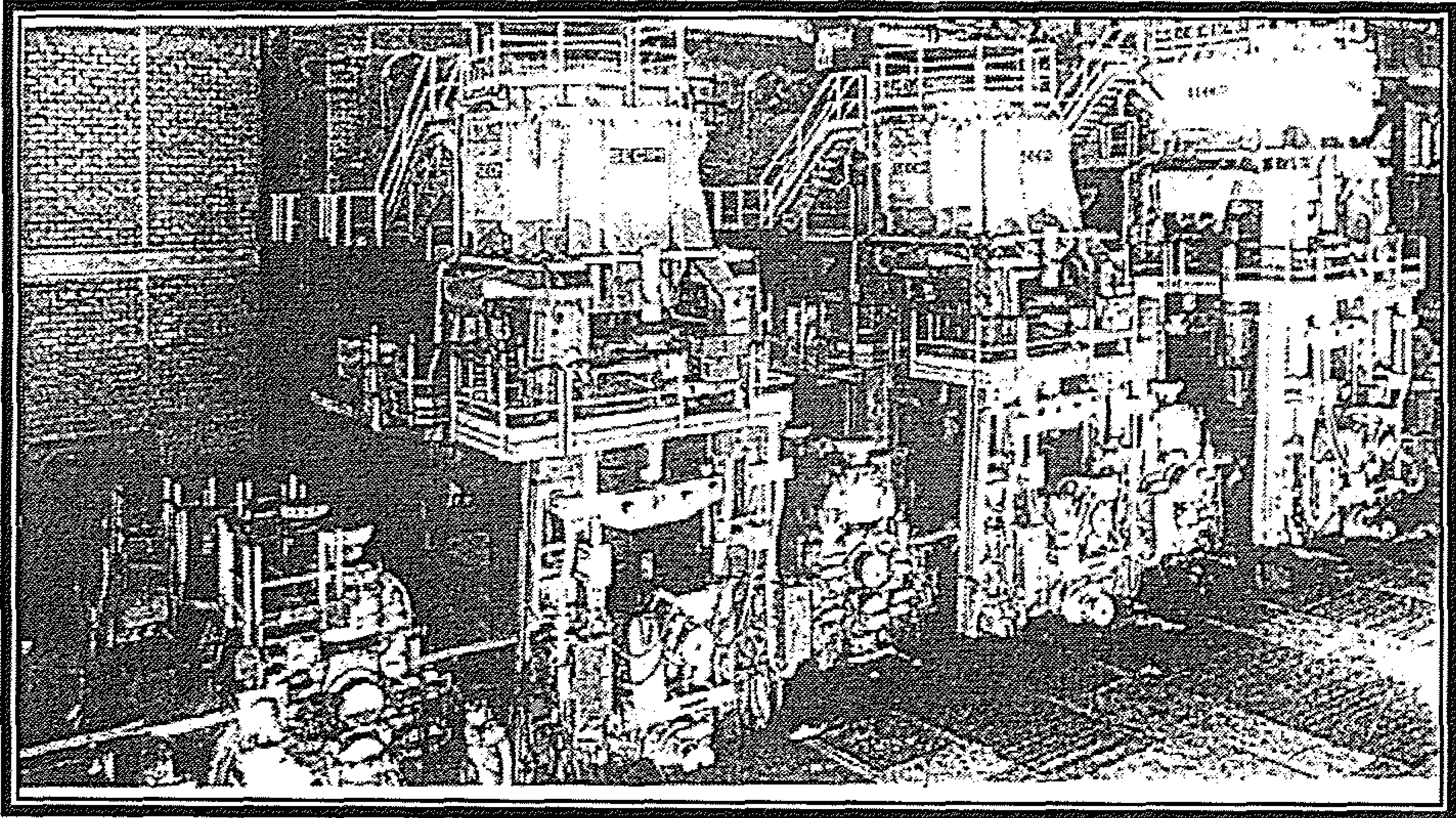
4- الملف Coiler.

5- عربة نقل المعدن.



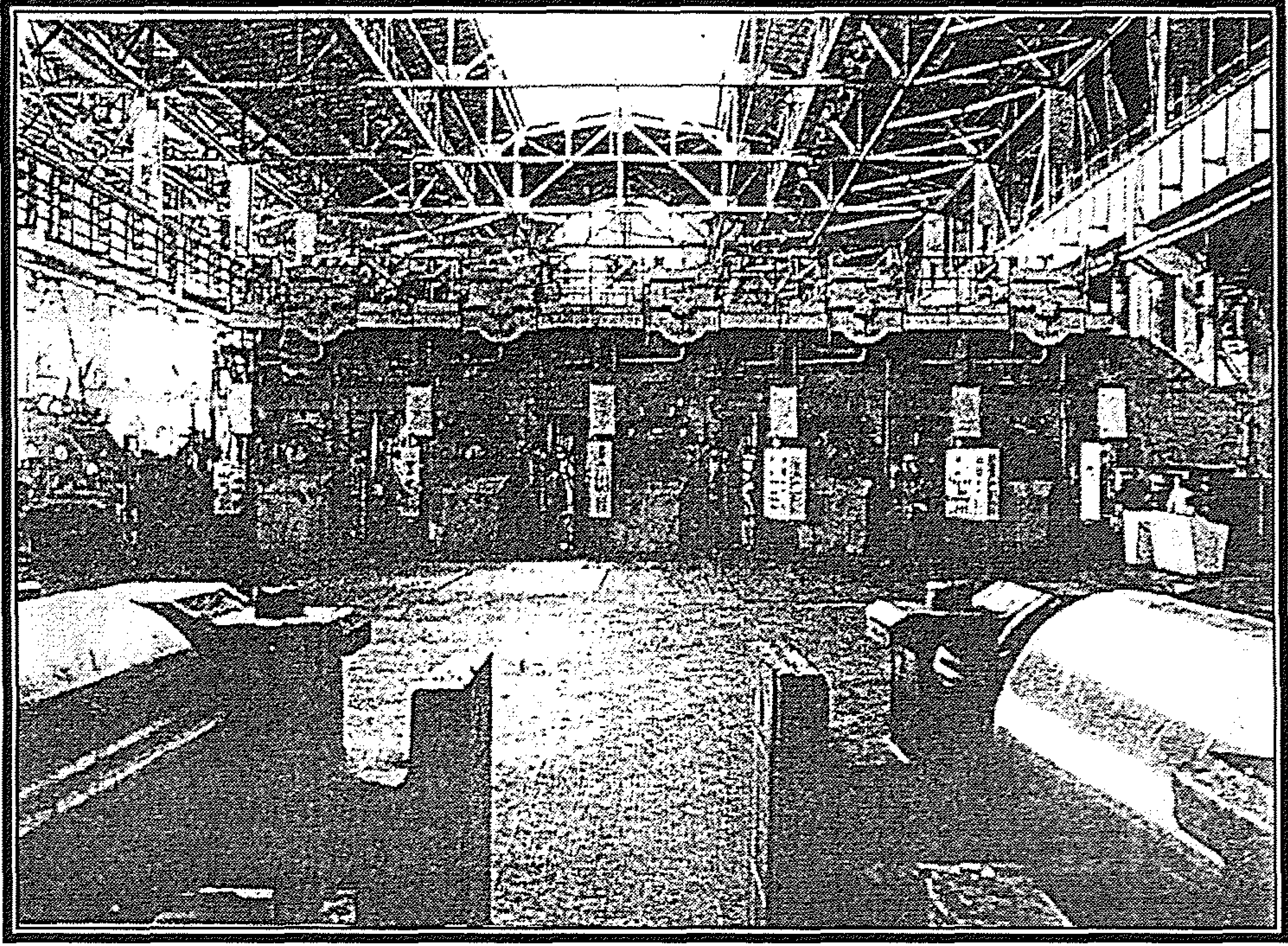
شكل (5 – 9)

مكائن متعددة للدرفلة على الحار.



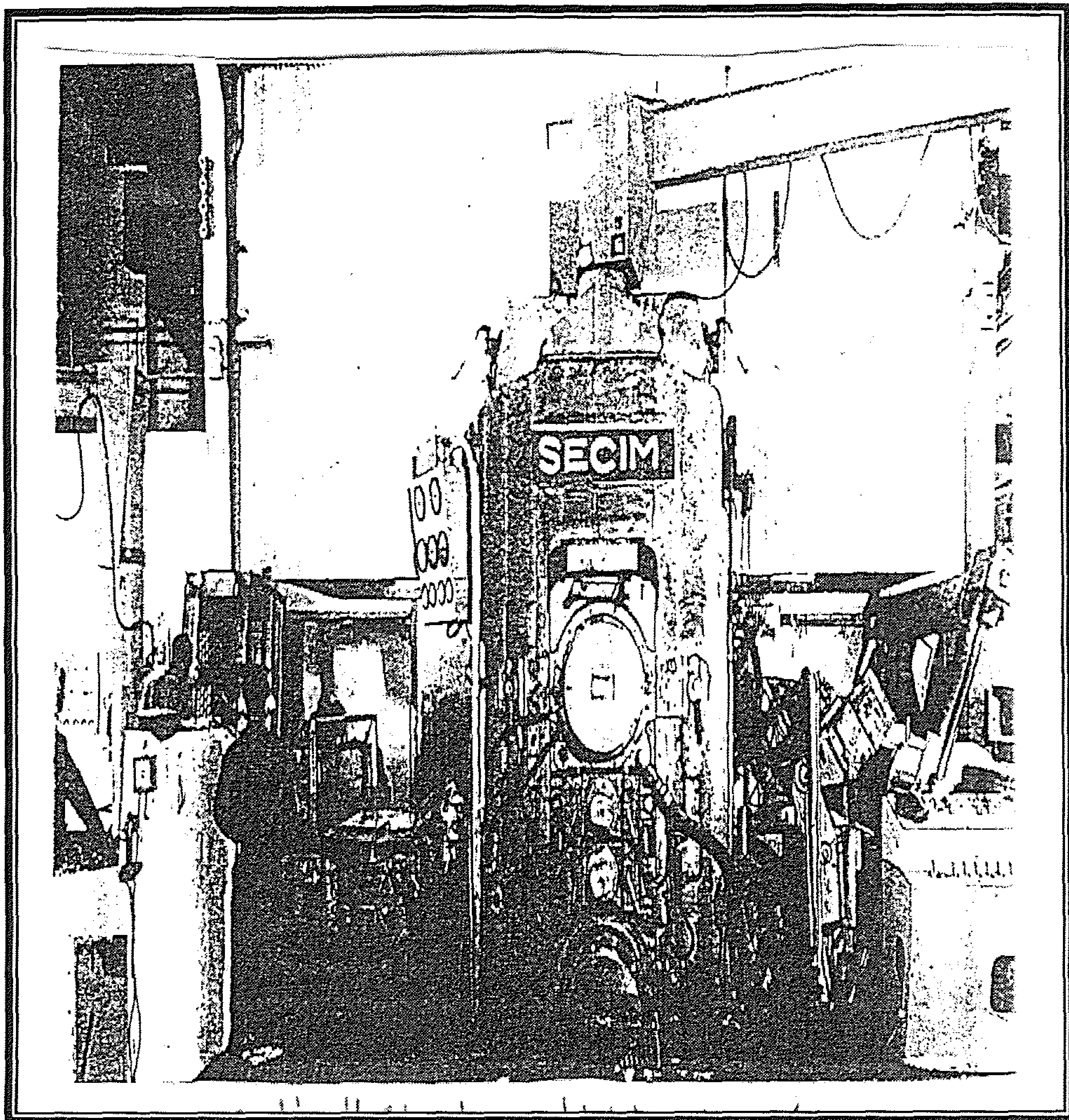
الشكل (5-10)

مكائن درفلة على الحار متعددة لدرفلة المقاطع المحددة.



شكل (5 – 11)

مكائن درفلة على البارد متعددة، و يظهر جانبا شكل المدرفلات التى تستخدم فيها.



شكل (5- 12)

ماكنة درفلة على البارد رباعية المدرفلات.

5- 4 تهيئة المعدن لعملية الدرفلة الباردة

(Metal preparation for cold rolling)

تعتمد ابعاد البلاطة (Slab) المراد تشكيلها على الحار على ابعاد المنتج النهائي المطلوب حيث يحدد سمك البلاطة في كل مرحلة من مراحل الدرفلة تكنولوجيا. ويتم عادة انهاء عملية الدرفلة الحارة بسمك (8-12mm) للمنتجات المطلوبة بسمك قليل وغالبا ماتكون الصفيحة بصورة ملفوفة (Coil or Roll) ويمكن الحصول على صفائح ذات سمك اعلى وحسب ما تتطلبه تكنولوجيا المنتج. ويتم تبريد المعدن بعد انهاء عملية الدرفلة الحارة في الهواء او في حوض ماء ويستخدم في اغلب الاحيان الاسلوبين وبهذا تصبح الصفيحة جاهزة للمراحل الانتاجية اللاحقة.

يكسو سطح المعدن المنتج عادة طبقة من الاكاسيد المتكونة بسبب الحرارة العالية التي يصلها المعدن في عملية الدرفلة الحارة وتتم ازالتها بعملية التفريز لسطحي المنتج وجوانبه، حيث يزال حوالي0.5mm من كل سطح و حوالي (1-3mm) من جانبي الصفيحة. تستخدم في عملية التفريزعُدد تفريزخاصة (وذلك بسبب عرض الصفيحة الذي قد يصل احيانا الى (1200mm)) تكون على شكل اسطواني تحتوي على اخاديد ممتدة على طولها وبصورة حلزونية حيث يتم تثبيت لقم القطع فيها ثم تثبت هذه العدة في ماكنة خاصة للتفريز. وقد تزال الاكاسيد بغسل المنتج بالحامض (Pickling) وخصوصا في المنتجات قليلة الوزن والابعاد.

5- 5 الدرفلة الباردة (Cold Rolling)

وهي احدى عمليات التشكيل البارد التي تحدث تشوها في البنية الدقيقة للمعدن والتي تؤدي الى تغيير خواص المعدن الميكانيكية من حيث مقاومة الشد والمتانة والمطيلية والصلادة. اما مدى التغيير فيعتمد على نوع وطبيعة المعدن ومقدار الاختزال في السمك. ويكون المعدن الداخل لعملية الدرفلة الباردة هو المعدن الذي سبق ان درفل على الحار او معامل حراريا (ملدن) وفي كلتا الحالتين يكون المعدن بحالته اللينة (Soft) ومن ثم له

قابلية عالية على تحمل اكبر اختزال ممكن في السمك بين مراحل الدرفلة والتي يمتاز بها النحاس وسبائكه.

تقسم مكائن الدرفلة الباردة وحسب استخداماتها في المصانع الانتاجية الى ثلاثة انواع فمنها مكائن انتاج اولية حيث لا تتطلب دقة عالية في المنتج من ابعاد ونوعية سطح، ومنها ما تكون وسطية بحيث تجهز المكائن الاخرى بمنتجات ذات دقة اكبر لضمان جودة عالية في المنتج النهائي. اما النوع الثالث فهي مكائن الانتاج النهائي التي تتطلب دقة عالية في المنتج الداخل الى الماكنة لتعطي دقة اعلى في المنتج النهائي والذي يرسل الى الجهة المستفيدة.

يكون المعدن المراد تشكيله على ماكنة الدرفلة الباردة بصورة ملفوفة (Coil)عادة يتم تثبيته في الماكنة في جزء خاص يدعى المفل (Decoiler) حيث يلف المعدن بعد درفلته الى جزء اخر يدعى الملف (Coiler). يمكن بعد ذلك درفلة المعدن ولعدة مراحل، حتى الوصول الى السمك المطلوب، بين ملفين حيث تكون مكائن الدرفلة الباردة من النوع الذي يعكس الاتجاه (Reversible Mill)اي بتغيير اتجاه الحركة 180° بعد اتمام الدرفلة بالاتجاه الاول وهكذا.

تتم عملية الدرفلة في الظروف الاعتيادية من دون رفع درجة حرارة المعدن عدا تلك التي تنشا في المعدن والناتجة من الاحتكاك الداخلي (Internal Friction) في البنية الدقيقة للمعدن بسبب التشوه اللدن (deformation Plastic) وفي هذه الحالة تكون درجة الحرارة الناتجة قليلة ولا يمكن ان تصل الى درجة حرارة اعادة تبلور المعدن، عدا الحالة التي يكون فيها ذو درجة انصهار واطئة جدا كالرصاص على سبيل المثال. ولهذا السبب فان التشوه الحاصل في البنية الدقيقة يؤدي الى زيادة مقاومة المعدن وصلادته. تعتمد هذه الزيادة على نسبة التشكيل البارد. ويمكن تشكيل النحاس النقي بنسبة تصل الى % 98بينما تقل هذه النسبة في سبائك النحاس (كسبيكة البراص 30–70) حيث تصل الى % 75وتصبح السبيكة عند هذه النسبة من التشكيل صلدة جدا لتصل الى ما

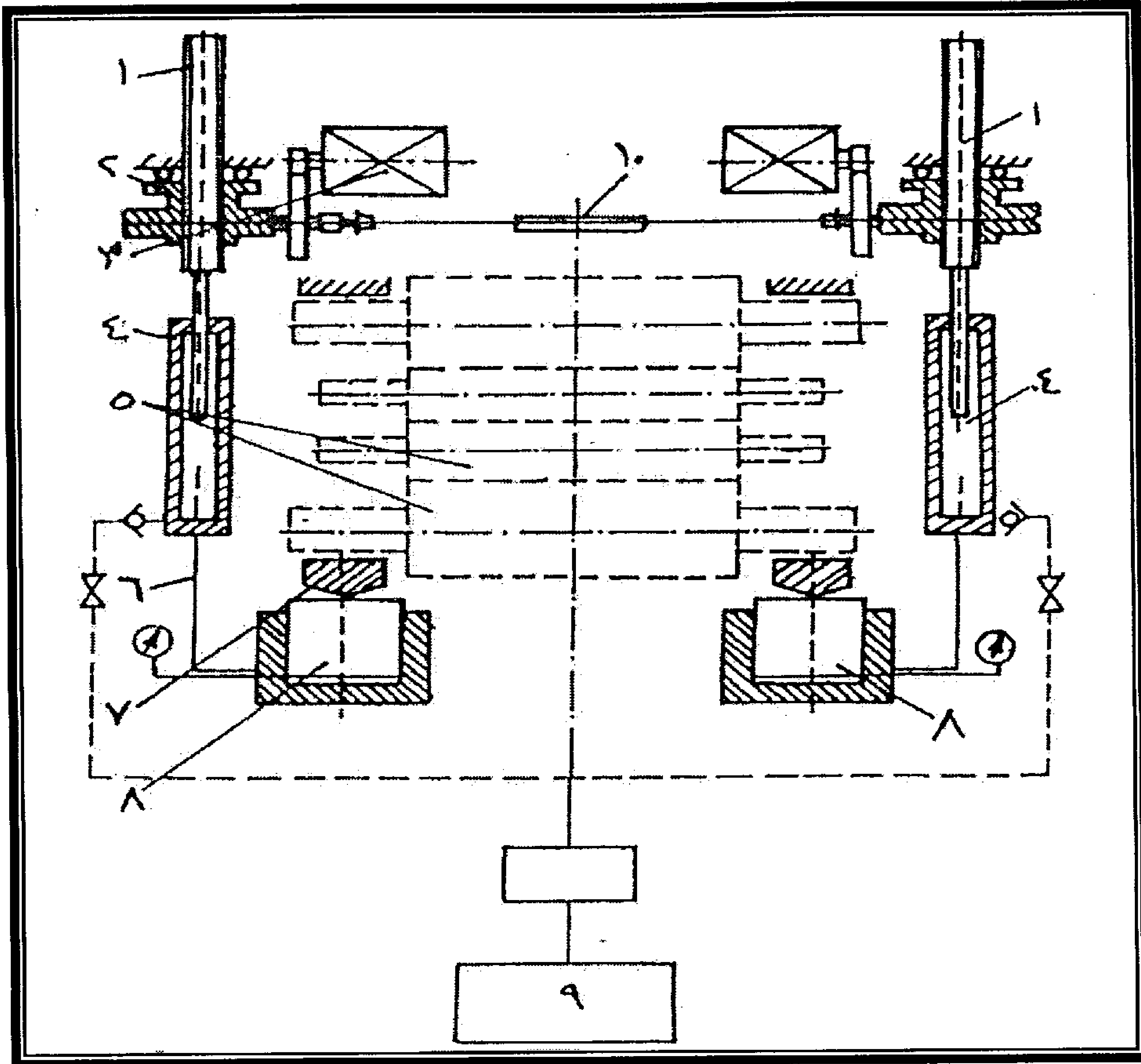
يدعى بصلادة النابض (Spring hard). والجدول (5-1) يبين التغيير الحاصل في خواص السبيكة الميكانيكية لنسب تشكيل معينة ولسبائك مختلفة.

الجدول(5-1)
علاقة نسبة التشكيل بالخواص الميكانيكية لبعض السبائك.

السبيكة	نسبة التشكيل	الخواص الميكانيكية حسب المواصفة الالمانية DIN				حالة السبيكة
		الصلادةHB	المطيلية %	مقاومة الشد N/mm²	مقاومة الصمود (2.0%) N/mm²	
نحاس Cu	صفر	≈ 55	≥ 36	200 - 250	≤100	لدنة
	0-20%	≈ 95	≥ 12	250-300	≥150	1/2صلدة
	%>20	≥ 105	≥6	>300	≥ 250	صلدة
براص(30-70) CuZn30	صفر	≈ 70	≥ 45	280-350	≤ 160	لدنة
	0-20%	≈110	≥30	350-420	≥ 300	2/1صلدة
	> 20%	≥ 130	≥ 12	>420	≥ 470	صلدة
براص 63 CuZn37	صفر	≈ 70	≥ 44	290-370	≤ 200	لدنة
	0-20%	≈110	≥ 24	370-440	≥ 370	1/2صلدة
	>20%	≥ 135	≥ 8	>440	≥ 490	صلدة

ويمكن اعادة المعدن الى حالة الليونة (Softness) عن طريق تلدينه بدرجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة تبلوره(Recrystallization temperature) وعندئذ يتقبل المعدن نسبة تشكيل اضافية (جديدة) وحسب طبيعته. ولهذا السبب يتم تخفيض سمك المعدن الداخل الى الدرفلة الباردة من (8-12mm الى 0.05mm) للنحاس النقي والى

(0.1mm) لسبائك النحاس حيث يتخلل عملية الدرفلة عملية بينية لتلدين المعدن. تجهز مكائن الدرفلة باجهزة سيطرة على فتحة المدرفلات (اي السيطرة على المسافة بين المدرفلات) (Gap distance) والتي تحدد سمك المعدن. تستخدم اجهزة السيطرة الميكانيكية والتي تدار بوساطة لولب ميكانيكي لتصغير المقطع (Mechanical Screw down) يثبت فوق مرتكزات تحميل المدرفلات يشغل بمحرك كهربائي وتنقل الحركة عن طريق صندوق تروس (Gear Box). لقد تم تطوير مكائن الدرفلة باستخدام اجهزة سيطرة آلية ذات دقة عالية (Automatic Control System) تتم السيطرة على المسافة بين المدرفلات هيدروليا (Hydraulic) .وتتم السيطرة عن طريق قياس سمك المعدن الخارج باجهزة قياس دقيقة ثم يتم تصحيح السمك يدويا او آليا اذا تطلب الامر ذلك. وقد تستخدم اجهزة سيطرة هيدروميكانيكية (Hydro mechanical srcew down) لتغيير المسافة بين المدرفلات وكما مبين في الشكل(5-13). حيث تتم السيطرة ميكانيكيا عن طريق لولب يتصل باسطوانة هيدرولية تغذي اسطوانة تغيير المقطع.



الشكل(5-13)

مخطط اجهزة السيطرة الهيدروميكانيكية لتغييرالمسافة بين المدرفلات لماكنة الدرفلة الباردة.

1- لولب(برغي)التغيير
2- ثرس نقل الحركة
3- محرك كهربائي
4- موجة الضغط الهيدرولي
5- اسطوانات الدرفلة
6- انبوب هيدرولي

7- مسند الاسطوانات(المدرفلات)

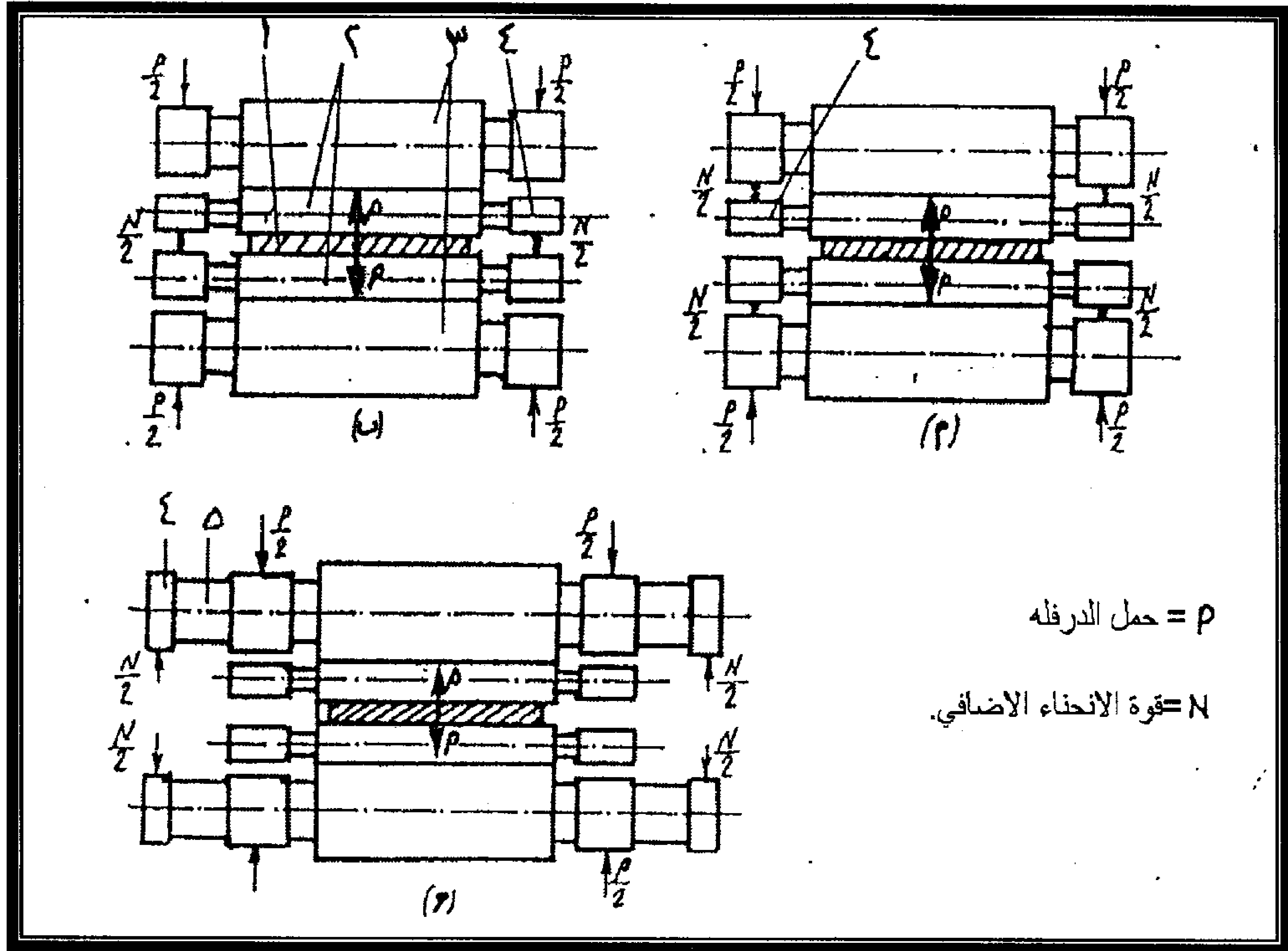
8- الاسطوانة الهيدرولية

9- المضخة

10- قابض وفاصل التروس (Clutch)

ومن التطويرات التي حصلت في مكائن الدرفلة استخدام نظام الانحناء الاضافي للمدرفلات(Additional Roll Bending System) حيث يولد ضغط اضافي على المدرفلات في منطقة اسناد المدرفلات (اي في مرتكزات التحميل) وذلك لتقليل انحناء المدرفلات الناتج عن ضغط المعدن، تحت الدرفلة،عليها وخصوصا في وسطها. يسلط الضغط الاضافي على المدرفلات العاملة اوعلى المساعدة او بين العاملة والمساعدة وكما في الشكل(5-14). ان الهدف من استخدام نظام الانحناء الاضافي هو للحصول على سمك متجانس للمعدن المدرفل على مدى مقطعه العرضي (عرض المعدن) وخاصة عند تشكيل المعادن ذات العرض الكبير نسبيا حيث قد يصل الى (1500 mm). ولكون ان اعظم انحناء يحصل للمدرفلات في منتصفها ولان شكل مقطع المنتج يمثل المسافة بين المدرفلات العاملة فان السمك سيكون غيرمتجانس اذا لم يستخدم نظام انحناء اضافي لغرض تجانس مقطع المعدن المنتج.

وبما ان غالبية المعدن المنتج في مكائن الدرفلة تكون بهيئة لفات (Coils) لذا يتم اضافة قوة اخرى على المعدن هي قوة الشد (tensile force) حيث يتم شد المعدن على المفل (Decoiler) والملف (Coiler).تعمل هذه القوة على زيادة ثبات المعدن على الملف او المفل وحتى المدرفلات من جهة كما تؤدي الى تقليل الحمل على المدرفلات من جهة اخرى. حيث يؤدي ذلك الى تجانس اكثر في سمك المنتج على طول مقطعه العرضي. يستخدم الزيت عادة في مكائن الدرفلة الباردة كسائل تبريد وتزييت في وقت واحد وخصوصا في مكائن الدرفلة للمنتجات النهائية ذات السمك القليل. بينما يستخدم في بعض الاحيان وخاصة في مكائن الدرفلة الاولية مستحلب سائل (Emulsion) مكون من زيت وماء وبنسبة زيت اكبر من النوع المستخدم في مكائن الدرفلة الحارة.



شكل (5- 14)

طرائق استخدام نظام الأنحناء الأضافي و توزيع القوى

أ- نظام الأنحناء بين المدرفلات العاملة و المساعدة.

ب- نظام الأنحناء بين المدرفلات العاملة فقط.

ج- نظام الأنحناء بين المدرفلات المساعدة.

1- المعدن تحت الدرفلة.

2- المدرفلات العاملة.

3- المدرفلات المساعدة.

4- جهاز تسليط ضغط الأنحناء الأضافي.

5- عنق المدرفلات الممتد لغرض آلية الأنحناء الأضافي.

5- 6 تكنولوجيا درفلة النحاس وسبائكه

(Rolling Technology of Cu & Cu-alloys)

يتم تحديد تكنولوجيا اي سبيكة اعتمادا على ابعادها وخواصها المطلوبة اضافة الى نوعها. وتعتمد الابعاد على اساس السمك والعرض والطول للصفائح او السمك والعرض للفة المعدن مع ابعاد اللفة من حيث القطر الخارجي والداخلي. واعتمادا على ذلك يتم اعداد المسلك التكنولوجي للعمليات التي ستمر بها السبيكة وابتداء من الدرفلة الحارة ثم الدرفلة الباردة اضافة الى مراحل التلدين البينية. ويحدد ذلك عوامل كثيرة لها علاقة بحمل الدرفلة الذي يجب ان يكون ضمن الحد المسموح به وحسب قدرة الماكنة وتحمل المعدن كل ذلك مبني على اساس اقتصادي، ومن تلك العوامل ما ياتي :

1- عدد تمريرات الدرفلة (Number of Passes).

2- نسبة التشكيل في كل تمريرة.

3- ضغط المعدن على المدرفلات.

4- سرعة الدرفلة.

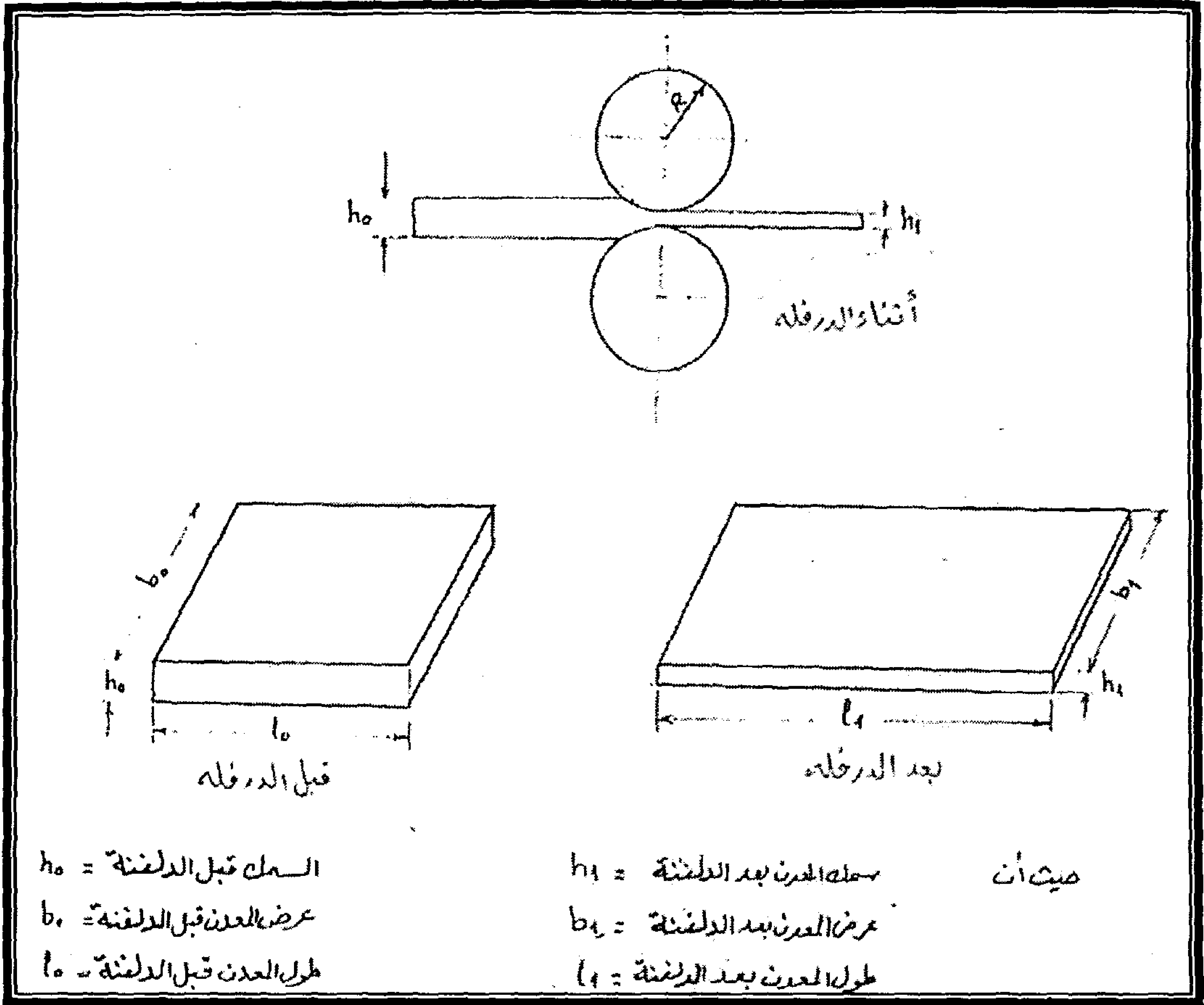
5- قوة الشد والشدالخلفي.

6- كفاءة سائل التبريد والتزييت.

وتختلف نسبة التشكيل من سبيكة لاخرى اعتماداً على قابلية المعدن للتشكيل (Deformability) ولدونته (Plasticity). فبينما يتحمل معدن النحاس النقي نسبة تشكيل عالية في التمريرة (Pass) الواحدة تصل الى (40%) ونسبة تشكيل كلية تصل الى(98%)، فاننا نجد ان لسبائك النحاس قابلية تشكيل اقل من ذلك بكثير. ففي سبيكة للبراص(30-70) تصل نسبة التشكيل الى حوالي(30%) في التمريرة الاولى عندما

يكون المعدن فيها لينا (Soft) اي بعد عملية التلدين، وتقل هذه النسبة مع زيادة عدد التمريرات ويعود السبب في ذلك الى خاصية التصليد الانفعالي (Strain hardening) حيث تزداد صلادة المعدن باطراد مع زيادة نسبة التشكيل البارد ومن ثم تقل قابليته على التشكيل، اضافة الى ان اضافة الخارصين(Zn) الى النحاس تقلل من قابلية تشكيلة. ففي سبيكة البراص 10-90 (CuZn10) المسماة بالتنباك (Tombac) تكون قابلية تشكيلها اعلى مما هي علية في سبيكة البراص 30-70(CuZn30).

وتؤخذ هذه الخاصية بنظر الاعتبار في الحسابات التكنولوجية للمعدن حيث ان زيادة نسبة التشكيل في التمريرة الاولى يؤدي الى تقليل عدد التمريرات الكلية ويعني ذلك اختصارا في زمن التشكيل وماله من مردودات اقتصادية. وبما ان عملية الدرفلة تؤدي الى اختزال سمك المنتج على حساب الزيادة في طوله وفي عرضه بدرجة قليلة وذلك بفرض عدم تغيير الحجم عدا التغيير الحاصل في الشكل. ولغرض حساب نسبة التشكيل والمطيلية من الجدير ان نشير، كما مر ذكره، الى ان عرض المعدن تحت الدرفلة يعتبر ثابتا بسبب استخدام المدرفلات الطرفية في عملية الدرفلة الحارة اولا وكون الزيادة في عرض المعدن قليلة جدا في الدرفلة الباردة مقارنة مع الزيادة في الطول نتيجة للاحتكاك العرضي الكبير بين المعدن والمدرفلات، لذلك تهمل الزيادة في العرض عند الحسابات لذا تكون العلاقات كالاتي مع الاشارة الى الشكل(5-15).



الشكل (5-15)

مخطط يمثل المعدن في مراحله الثلاث قبل وأثناء وبعد الدرفله.

نسبة الاختزال المئوية في السمك

$\varepsilon_h = (\Delta h / h_0) 100$

$= [(h_0 - h_1)/h_0] 100$

$\varepsilon_h = [1 - (h_1 / h_0)]\ 100$ ------------------ (1)

المطيلية (نسبة الاستطالة) (ε_l)(Elongation)

$\varepsilon_l=(\Delta l/l_0)100$

$=[(l_1-l_0)/l_0]100$

$=[(l_1/l_0)-1]\ 100$ -- ---- --- --- -- --- (2)

نسبة الزيادة في العرض(ε_b)(Widening)

$\varepsilon_b=(\Delta b/b_o)100$

$= [(b_1-b_0)/b_0]100$

$= [(b_1/b_0)-1]\ 100$ -------------- (3)

نسبة الاختزال في مساحة المقطع العرضي (Reduction in cross sectional area)

$\varepsilon_A = (\Delta A/A_0)100$

$= [(A_0-A_1)/A_o]\ 100$

$= [1-(A_1/A_0)]\ 100$ ------------------- (4)

يعتبر الحجم ثابتا قبل وبعد التشكيل من الناحية العملية، وان كان هناك زيادة طفيفة في الحجم بعد التشكيل ناتجة عن زيادة كثافة الانخلاعات الا ان ذلك لايؤثر على الحسابات العملية.

فحجم المعدن(V) هو

$V=h.b.l.$

وبما انه ليس هناك تغيير يذكر في حجم المعدن بعد الدرفلة فان

$V_o=V_1$

$h_o b_o l_o = h_1 b_1 l_1$

وفي حالة وجود زيادة في العرض اي ان $b_o<b_1$

$h_o/h_1 = (b_1/b_o)(l_1/l_o)$

اما في حالة كون $b_1=b_o$ (عدم وجود تغيير في العرض) بسبب الاحتكاك العرضي بين المدرفلات والمعدن فان

$$h_o / h_1 = l_1 / l_o \quad \text{------------------} \quad (5)$$

فالمعادلات انفة الذكر يمكن استخدامها لحساب نسبة التشكيل والزيادة في الابعاد التي تحصل في المعدن بعد عملية الدرفلة ويمكن استخدامها عند اي مرحلة منها. اما حسابات حمل الدرفلة والمتغيرات المتعلقة به فانها معقدة ومطولة وتحتاج الى شرح مستفيض حيث تستخدم في الامور التصميمية للمكائن واجزائها وهذا خارج عن موضوع كتابنا.

5- 7 تاثير عمليات الدرفلة على الخواص الميكانيكية للمعدن

تُحدث عملية الدرفلة وكاي عملية تشكيل أخرى تشوها في البنية البلورية للمعدن من جراء حركة الانخلاعات(Dislocations) والفجوات الذرية (Vacancies) ونتيجة لهذا التشوه في الشبكة البلورية للمعدن بسبب زيادة كثافة الانخلاعات (DislocationDensity) والعيوب النقطية (Point Defects) ونتيجة لذلك تزداد المقاومة لحركة الانخلاعات كلما زادت نسبة التشويه بسبب التفاعل (التقاطع) بين الانخلاعات نفسها من جهة وبينها وبين الشوائب والعيوب النقطية من جهة اخرى، كل ذلك يؤدي الى زيادة مقاومة الخضوع للمعدن (Yield Strength). وتختلف حالة المعدن وخواصه بعد عملية الدرفلة الحارة عن حالته بعد الدرفلة الباردة. ففي حالة الدرفلة الحارة والتي يدرفل المعدن فيها عند درجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة تبلوره، حيث تحدث عملية اعادة التبلور بعد خروج المعدن من بين المدرفلات مباشرة، ولذلك لاتتغير مقاومة خضوع المعدن بصورة ملحوظة لكونه يعود الى حالة مشابهة لحالة التلدين. اما في عملية الدرفلة الباردة حيث تجرى في درجة حرارة منخفضة نسبيا (اقل من درجة حرارة اعادة التبلور) فترتفع مقاومة الخضوع للمعدن لان بنيته في حالة مشوهة بسبب زيادة كثافة الانخلاعات و الفجوات الذريّة، كما مر ذكره، ومن ثم زيادة الطاقة الداخلية التي خزنت

فيها، نتيجة للاجهادات التي تعرضت لها كما ان الحرارة الناتجة عـن الاحتكـاك الـداخلي اثناء التشوه اللدن لبنية المعدن لاتكفي لاعـادة تبلـوره فيـصبح المعـدن في حالـة صـلدة، ويعتمد ذلك على مقدار التـشوه (التـشكيل) في المعـدن. وتـبين المنحنيـات الموجـودة في الفصل الثاني عشر تاثير نسبة التشكيل في خواص المعدن ولمختلف السبائك النحاسية.

الفصل السادس

التخريم والسحب العميق

(Punching and Deep Drawing)

الفصل السادس

التخريم والسحب العميق

(Punching and Deep Drawing)

المقدمة:

تعتبر عمليات التخريم والسحب العميق احدى عمليات التشكيل البارد (Cold Working) والتي تجرى على الصفائح والاشرطة المعدنية باستخدام عدد مكونة من اداة التخريم (السنبك) (Punch) والقالب (Die) بوساطة عملية الكبس باستخدام مكابس ميكانيكية او هيدرولية او بالهواء المضغوط (Pneumatic Press). تجرى عمليات السحب العميق على المعدن للحصول على اكواب او ما يسمى بالفنجان(cup) وغالبا ما تقطع القطعة من الصفيحة المعدنية بشكل قرص دائري (Disc) وخاصة في الصفائح المعدنية السميكة بوساطة مكابس منفصلة او ان يستخدم مكبس واحد وفي نفس العدة حيث تجرى العمليتان. والحالة الاخيرة تستخدم بصورة عامة عند كون صفائح المعدن ذات سمك قليل نسبيا (اقل من3.5mm)، وفيما ياتي شرح لهذه العملية.

6- 1 التخريم (Punching)

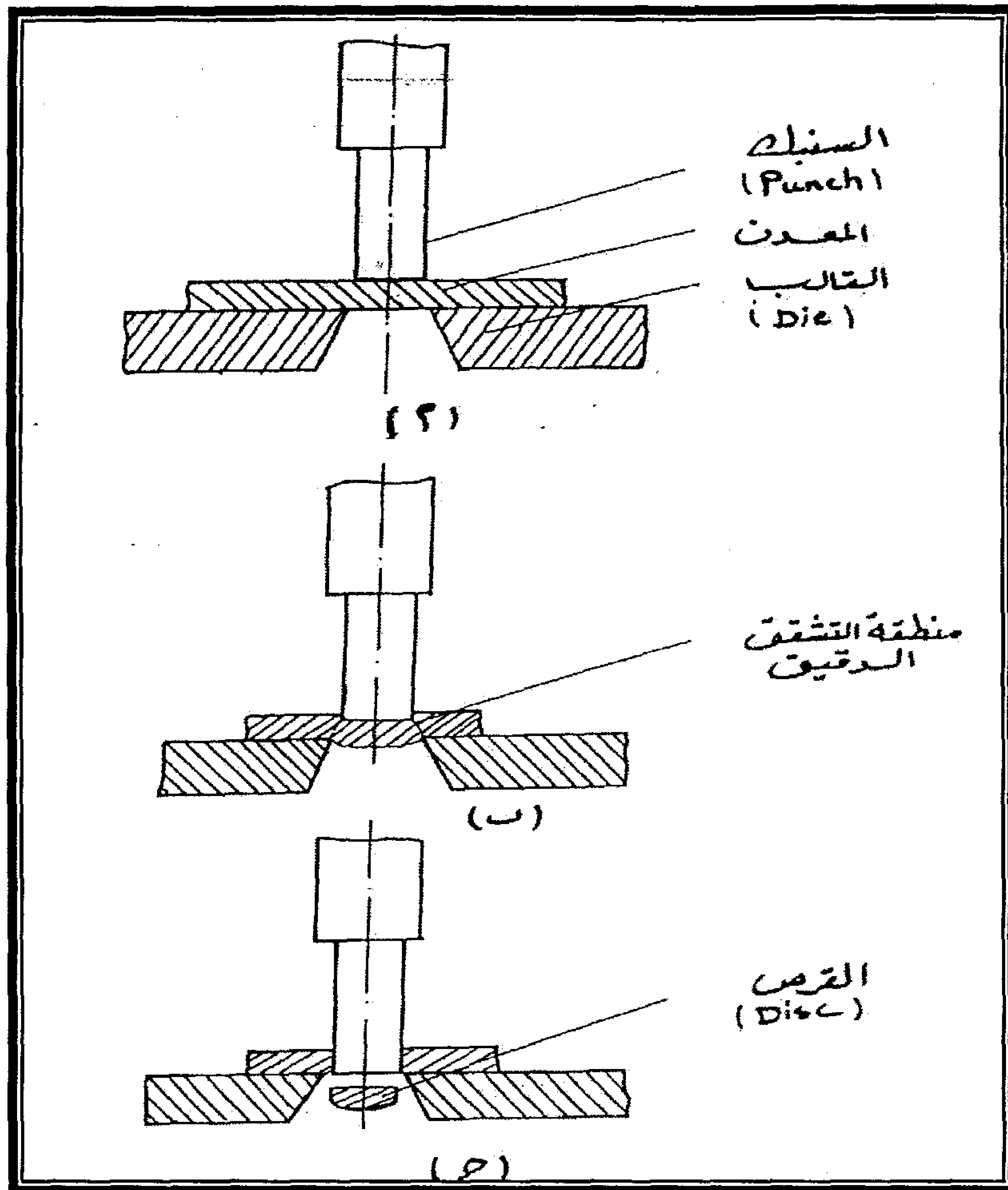
تمثل عملية التخريم احدى عمليات القطع التي تجرى للمعدن وباستخدام عدد قطع مغلقة متمثلة بقوالب التخريم (Punching dies) وباستخدام مكابس ميكانيكية او هيدرولية. وتقسم عملية التخريم الى ثلاث مراحل هي:

1- المرحلة الاولى والتي يكون فيها المعدن في مرحلة التشوه المرن (Elastic deformation) نتيجة لوزن اداة التخريم على المعدن وقبيل مرحلة التشوه اللدن (Plastic deformation)، والفرق بين التشوه المرن واللدن هو ان المعدن في التشوه المرن يمكنه العودة الى شكله الاصلي عند ازالة القوة المسلطة عليه اي ان

الاجهاد المسلط على المعدن هو دون مقداراجهاد الخضوع (Yield Stress)، اما في حالة التشوه اللد ن فان المعدن لايمكنه العودة الى شكله الاول بعد ازالة الاجهاد المسلط عليه ويكون اكبر من اجهاد الخضوع. ويبين الشكل(6 – 1 أ) المرحلة الاولى.

2- **المرحلة الثانية** والتي تبدا مع زيادة الضغط على المعدن وانغماس اداة التخريم فيه مكونة تمركزاً للاجهادات قرب حافة القالب (Die edge)، كما مبين في الشكل(6-1ب). تبدا منطقة التشوه اللدن بالتكوين بين حافة قالب القطع وحافة اداة التخريم (السنبك) والتي يبدأ عندها المعدن بالانقطاع نتيجة لتمدد بلورات المعدن خصوصا عندما يكون الخلوص (Clearance) بين السنبك والقالب كبيرا نسبيا، والتي يبدا عندها تمزق المعدن في تلك المنطقة.

3- **المرحلة الثالثة** هي مرحلة انفصال المعدن وبشكل قرص (Disc) بسبب التشقق الذي حصل في المعدن عند حافة القطع لاداة التخريم والقالب، وكما يبينه الشكل (6-1ج) حيث يمثل المرحلة الاخيرة من مراحل عملية التخريم.



شكل (6 – 1)

يبين مراحل التخريم.

6- 1- 1 تاثير الخلوص بين القالب واداة التخريم

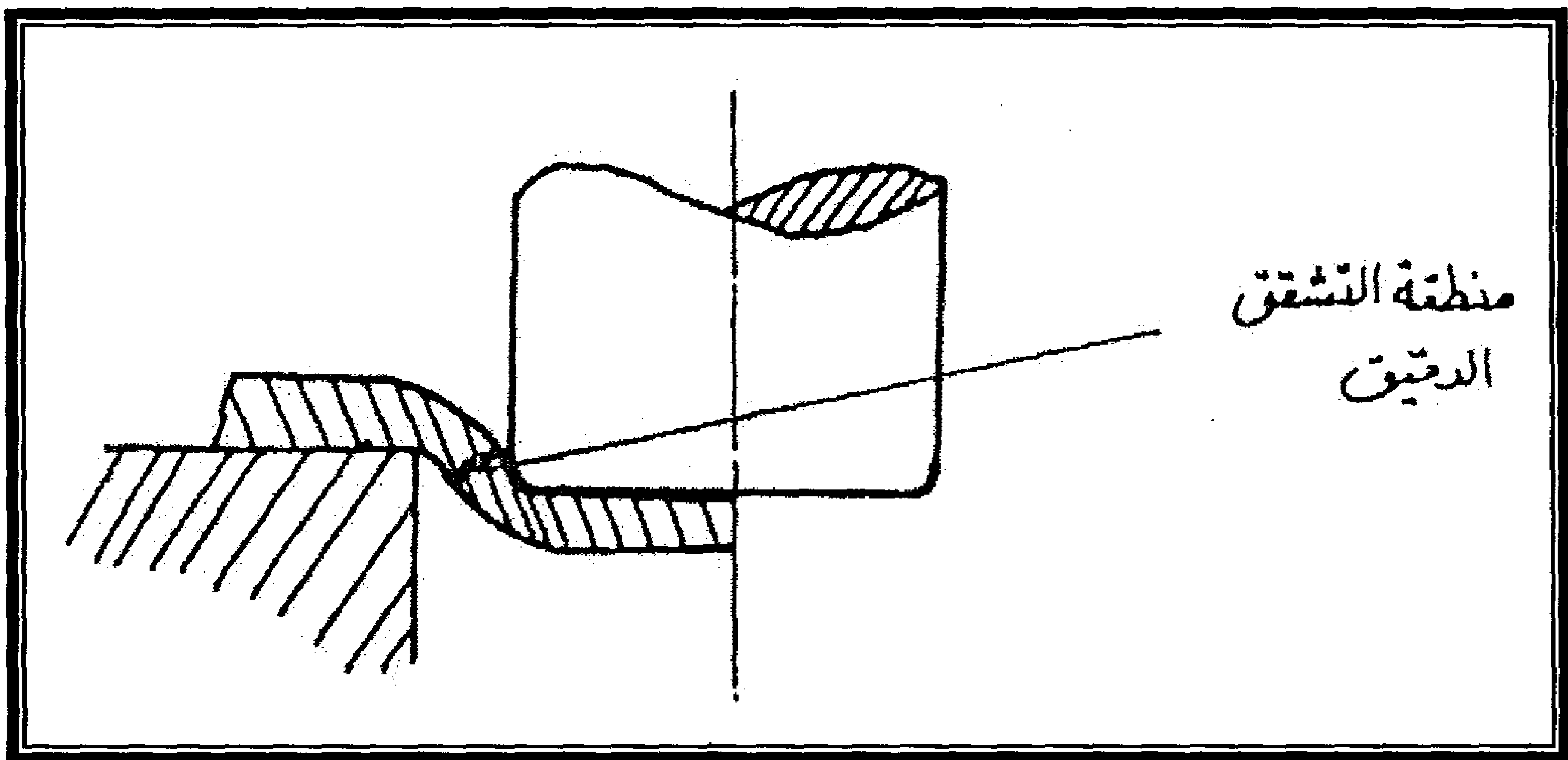
للخلوص الموجود بين القالب واداة التخريم اثركبير على حالة التمزق التي تحصل للمعدن في المنطقة المحددة بين حافتي قطع القالب واداة التخريم والتي لها تاثيرعلى حافة المنتج النهائي وجودته ايضا. ويمكن ان يقسم الخلوص الى الانواع التالية:

1- الخلوص الكبير جدا.

2- الخلوص الصغير جدا.

3- الخلوص الامثل (المناسب).

بالنسبة للخلوص الكبير، فيحصل انحناء (Bending) للمعدن في منطقة الخلوص عند اجراء عملية الضغط بالمكبس، كما هو مبين في الشكل (6-2). ومن ثم يحصل التمزق في منطقة الانحناء وهذا يؤدي الى اختلاف قطري القرص العلوي والسفلي.



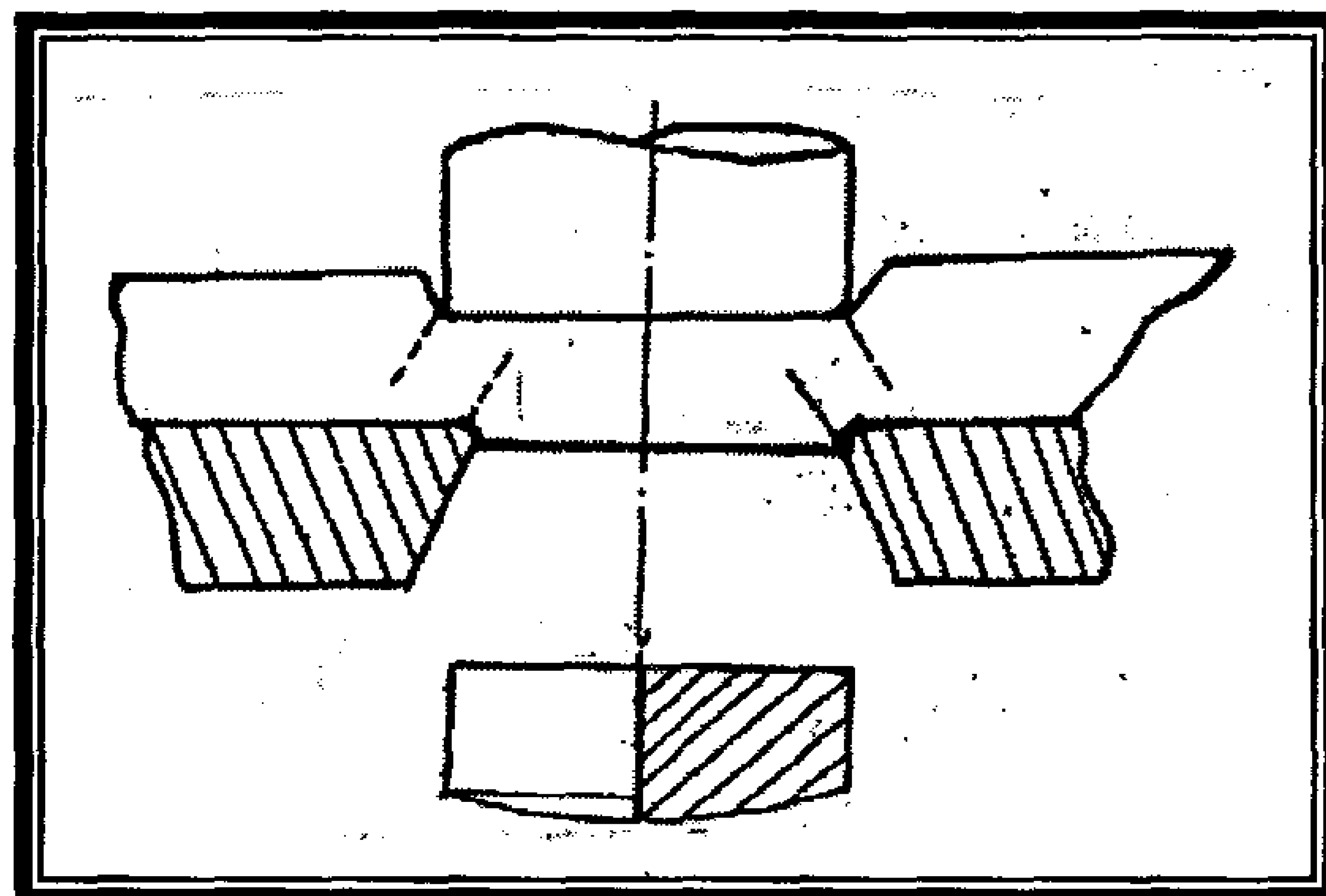
شكل (6 – 2)

التخريم بخلوص كبير جدا.

ويمكن ملاحظة هذه الظاهرة عندما يكون سمك المعدن المراد تخريمه قليل نسبيا. ويلاحظ الخلوص الكبير عندما يكون قطر القالب اكبر من قطر اداة التخريم بكثير او قد يحدث تدريجيا مع الاستخدام عندما يحدث بلي (Wear) في اداة التخريم او القالب او في كليهما معا.

اما في حالة كون الخلوص صغيرا والذي يلاحظ عند كون قطر اداة التخريم اكبر نسبيا من قطر القالب، اي حيث يكون فيها الخلوص اصغر من 1% من سمك المعدن تحت التخريم، ويكون شكل المعدن دائري الا انه يحتمل بقاء جزء من المعدن عند المنطقة

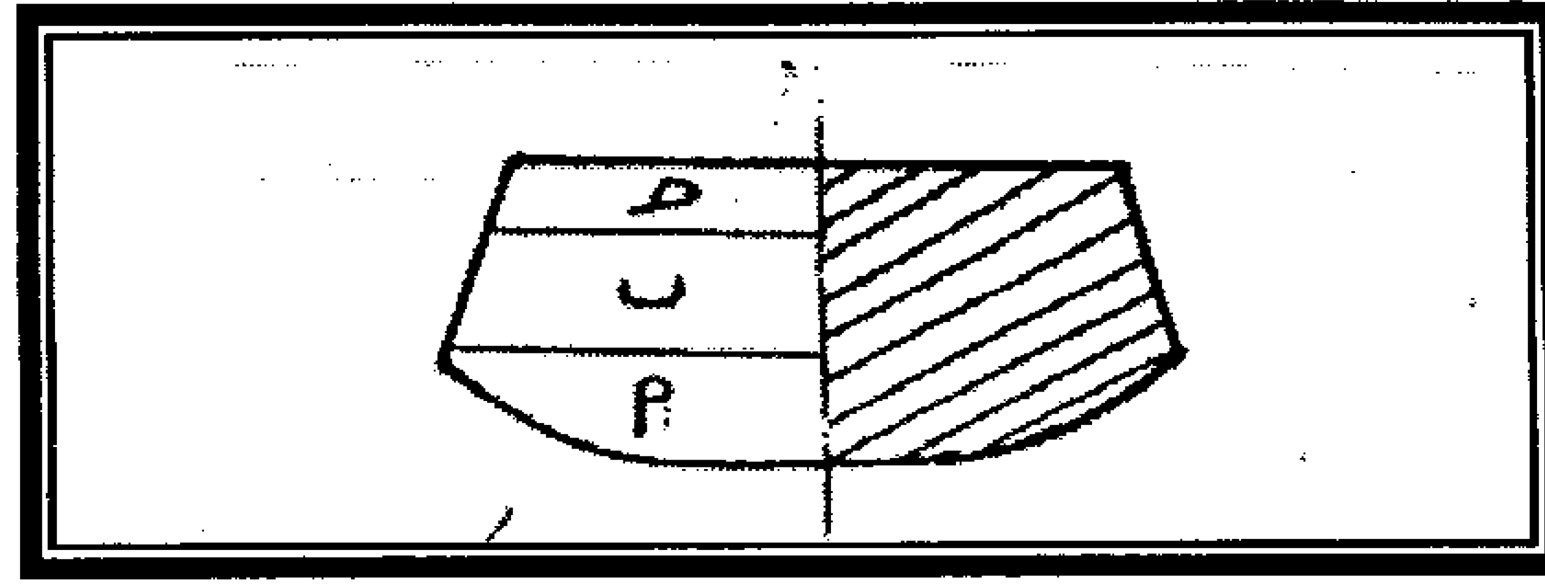
الوسطى من حافة القطع اثناء دفع القرص الناتج من القالب، ويحدث التمزق عند حافة اداة القطع (التخريم) والقالب بصورة متبادلة كما هو مبين في الشكل(6-3).



شكل (6 - 3)

التخريم بخلوص صغير جدا و يوضح مناطق التشقق الدقيق.

اما في حالة الخلوص الامثل (Optimal Gap) فيكون الفرق في قطري اداة التخريم والقالب قليل جدا، وهنا تحدث عملية التمزق عند حافة القالب اولا ومن ثم عند حافة اداة القطع، وتعطي هذه الحالة افضل منتج من حيث تجانس قطري القرص العلوي والسفلي اولاً وشكل حافة القطع ثانياً. ويمكن ملاحظة اقسام ثلاثة للجزء المُخرم (القرص) في الشكل(6-4).



شكل (6 – 4)

مناطق القرص المخرم.

المنطقة (ا) وتكون من جهة القالب وذات سطح محدب نحو الاسفل.

المنطقة (ب) وتمثل منطقة القطع وتكون ملساء اسطوانية براقة.

المنطقة (ج) وتمثل شكل القطع وتدعى بمنطقة التشظية وهي ذات سطح خشن بسبب كون اتجاه التمزق يتقدم من اداة القطع الى القالب عند خروج المنتج، و لا يحصل تمزق فيه، و لا يكون شكل المنتج اسطواني.

وفي حالة الخلوص الصغير تتكون منطقتان لامعتان وقد يحدث تمزق للمعدن بين الطبقة ب وج والتي قد تظهر بشكل نتوءات من المعدن عند دفع القرص الناتج. اما في حالة الخلوص الكبير فيحصل انحناء كبير للمنطقة (أ) مما يؤدي الى وجود فرق كبير بين القطرين الاعلى والاسفل للقرص.

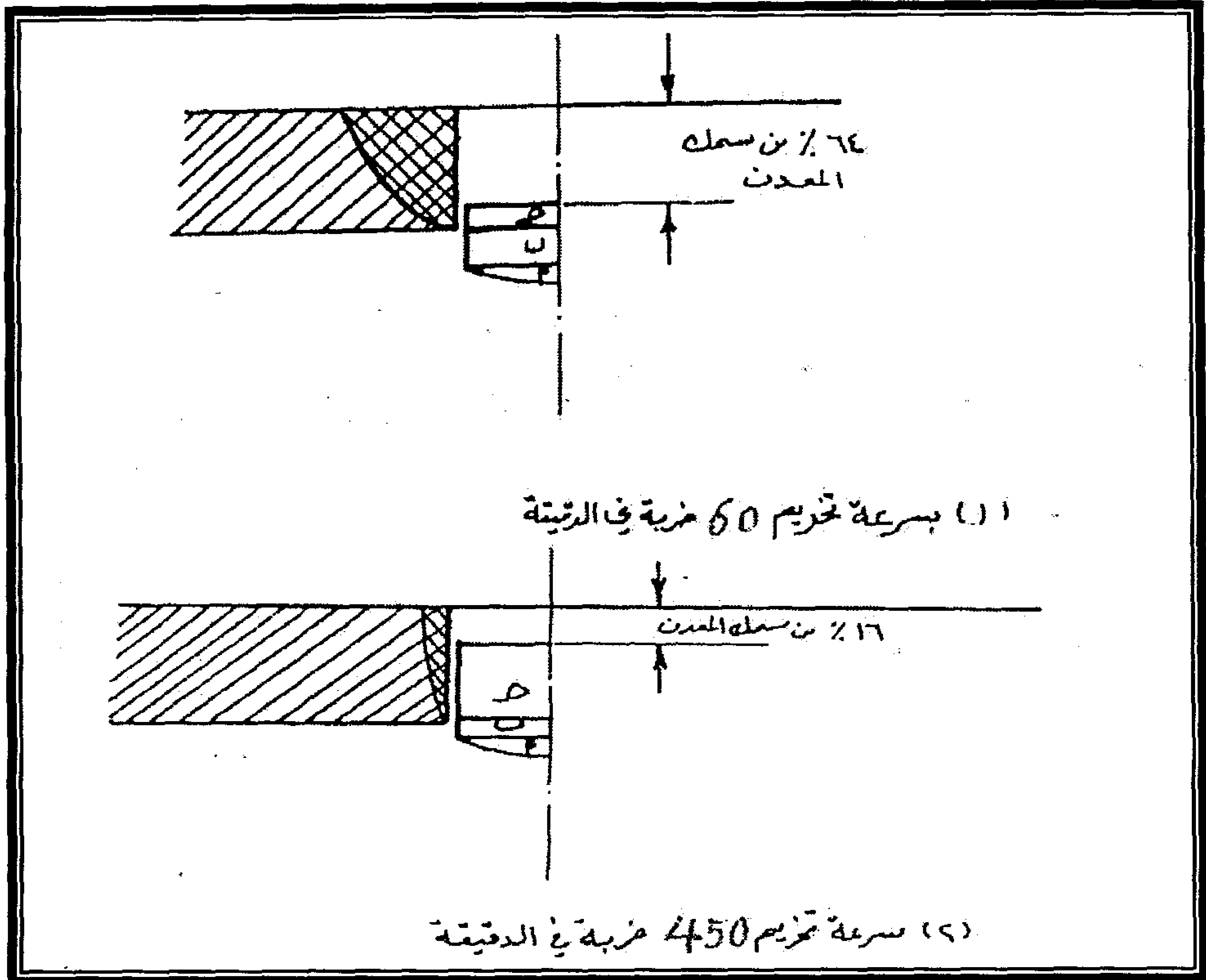
6- 1- 2 تاثير سرعة التخريم (القطع)

(Effect of punching speed)

تؤثر سرعة التخريم على نسبة سمك مناطق القرص المنتج (أ و ب و ج) اضافة الى منطقة انفصال القرص. فعلى سبيل المثال، للحصول على قرص من تخريم صفيحة معدنية بسمك (1.25mm) وباستخدام سرعة تخريم 60 ضربة في الدقيقة ثم 450 ضربة في الدقيقة فاننا نلاحظ، ومن خلال الشكل (6-5) الاتي:

1- يكون حد القالب في حالة السرعة العالية اقل اهمية لعملية الانفصال اعتمادا على حقيقة كون حدوث عملية القص بارتفاع صغير، كما في الشكل (6-5).

2- عنـد الـسرعة العاليـة فـان حالـة التمـزق الحاصـلة بـسبب التـشقق الجهـري (Micro-Cracking)عند حافة القالب تحدث بسهولة.



شكل (6 – 5)

حالة التخريم باستخدام سرع تخريم مختلفة.

3- عند السرعة الواطئة فان تحدب السطح السفلي للقرص يكون كبيرا اما عنـد السرعة العالية فان السطح الاسفل يكون موازيا للسطح العلوي تقريبا.

4- زيادة صلادة سطحَي القرص عند السرعات الواطئة حيث يزداد عمق المنطقة المصلدة في حين تقل المنطقة المصلدة عند السرعات العالية.

تؤثر سرعة القطع على القوة اللازمة (Punching Force) لـه حيـث تـزداد كلمـا زادت سرعة التخريم (القطع)، وبالتالي على زيادة القدرة الجهزة. والى جانب ذلـك فـان قوة التخريم تزداد كلما قل الخلوص بين اداة التخريم والقالب. وتتم مراعاة قيمة افـضل خلوص اعتمادا على القوة المطلوب استخدامها وكذلك جودة سطح القطع. وللحـصول على افضل سماحات للمنتج واطول عمر للعدة تستخدم اقل قوة ممكنة.

6- 1- 3 **طرائق التخريم** (Punching Methods)

أ- التخريم بدون خلوص (Punching Without Gap)

ويحدث عندما يكون قطر اداة التخريم مساوية لقطر القالب وضـمن الـسماحات المحددة. وتكون اتجاهات التشققات الجهرية، بسبب التشوه اللدن للمعدن، متداخلـة. يـتم الضغط على المعدن حيث يبدا المعدن بـالنفوذ مـن القالـب بـسبب التـشوه اللـدن الـذي يحصل للمعدن الى ان يتم القص، عندها ينتهـي هـذا التـشوه ويـتم اخـراج المعـدن مـن القالب باستمرار الضغط عليه، ويكون سطح القطع جيدا والجزء (أ) من القـرص اكـبر من الجزء (ج)، وتستخدم هذه الطريقة للاجزاء الصغيرة.

ب-التخريم بالخلوص السالب (Punching With Negative Gap)

ويكون فيه قطر اداة التخريم اكبر من قطـر القالـب، ولا تـدخل الاداة في القالـب طبعا. ويتم دفع القرص بوساطة القرص الذي يليه حيث تقـترب اداة القطـع (التخـريم) من القالب بمسافة (0.2- 0.5 mm). وتستخدم طريقـة التخـريم هـذه لـسبائك الـبراص والالمنيوم ولسمك يتراوح بين (0.5- 5.5 mm) حيث تتطلب العمليـة قـوة تخـريم اكـبر كلما زاد سمك المعدن.

ج- التخريم باستخدام الضغط المعاكس :

Punching with Pressing Down and Counter Pressure

وتعتبر احدث طريقة من طرائق التخريم حيث تعطي نتـائج افـضل مـن الطرائـق الاخرى. وفيها يحصل توزيع للاجهادات في الاتجاهات الثلاثة بسبب اجهـادات الـضغط

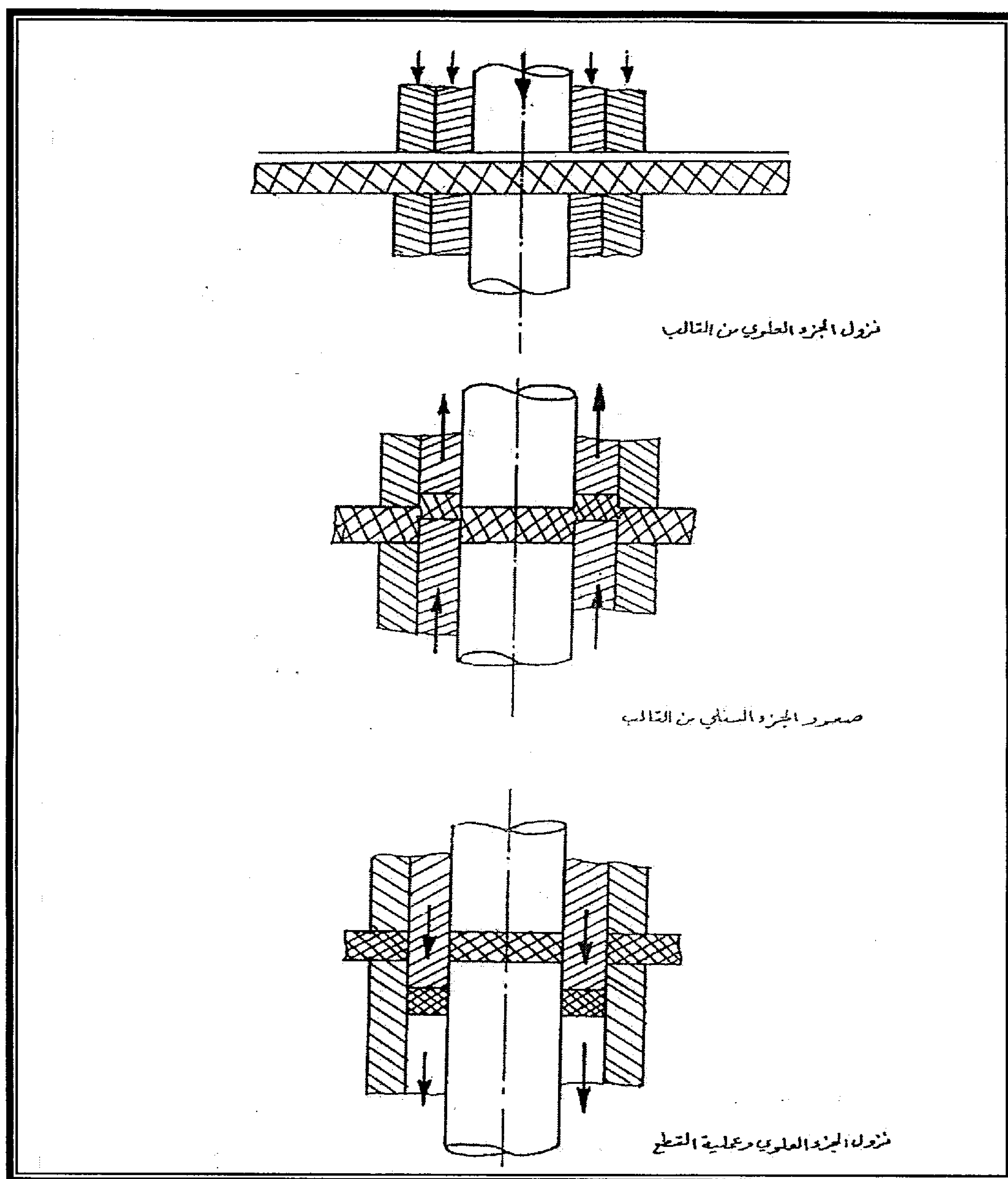
حيث لايوجد اجهاد شد على المعدن. وعليه فلا تتكون تشققات دقيقة في المنتج ويكون سطح القطع افضل وبدون تحدب، وتقل في هذه الطريقة لدونة المعدن.

اما مساويء هذه الطريقة فانها تتطلب قوة عالية وكلفة عالية للمعدات اضافة الى زيادة الاجهادات المسلطة على المعدن مما تؤدي الى تجاوز اجهاد الخضوع للمعدن بثلاثة الى اربعة اضعاف.

د- التخريم بطريقة القطع العكسي

(Punching Die With Backing Reverse Cutting)

وتتم هذه الطريقة بحركة القالب ليقوم بعملية قطع المعدن وتبدا بعد نزول الجزء العلوي من القالب على المعدن، فيتحرك الجزء الاسفل من القالب واداة القطع نحو الاعلى مؤديا الى قطع المعدن بمسافة ربع سمك المعدن، بعدها تبدا حركة الجزء العلوي للقالب الى الاسفل بمسافة مقدارها مرة ونصف (1.5) من سمك المعدن فيحصل القطع النهائي للقرص. تعطي هذه العملية جودة افضل للمنتج ومن دون استخدام مكابس ثلاثية الفاعلية حيث تكون غالية الثمن. تبدا بعدها عملية التجليخ وذلك بقطع زيادات المعدن بوساطة الضغط للاسفل باستخدام اداة قطع اكبر قطرا من القالب اي بطريقة الخلوص السالب. ويمكن ايضاح هذه الطريقة في الشكل (6-6) والحالتي حركة الجزء العلوي والسفلي اضافة لعملية القطع.



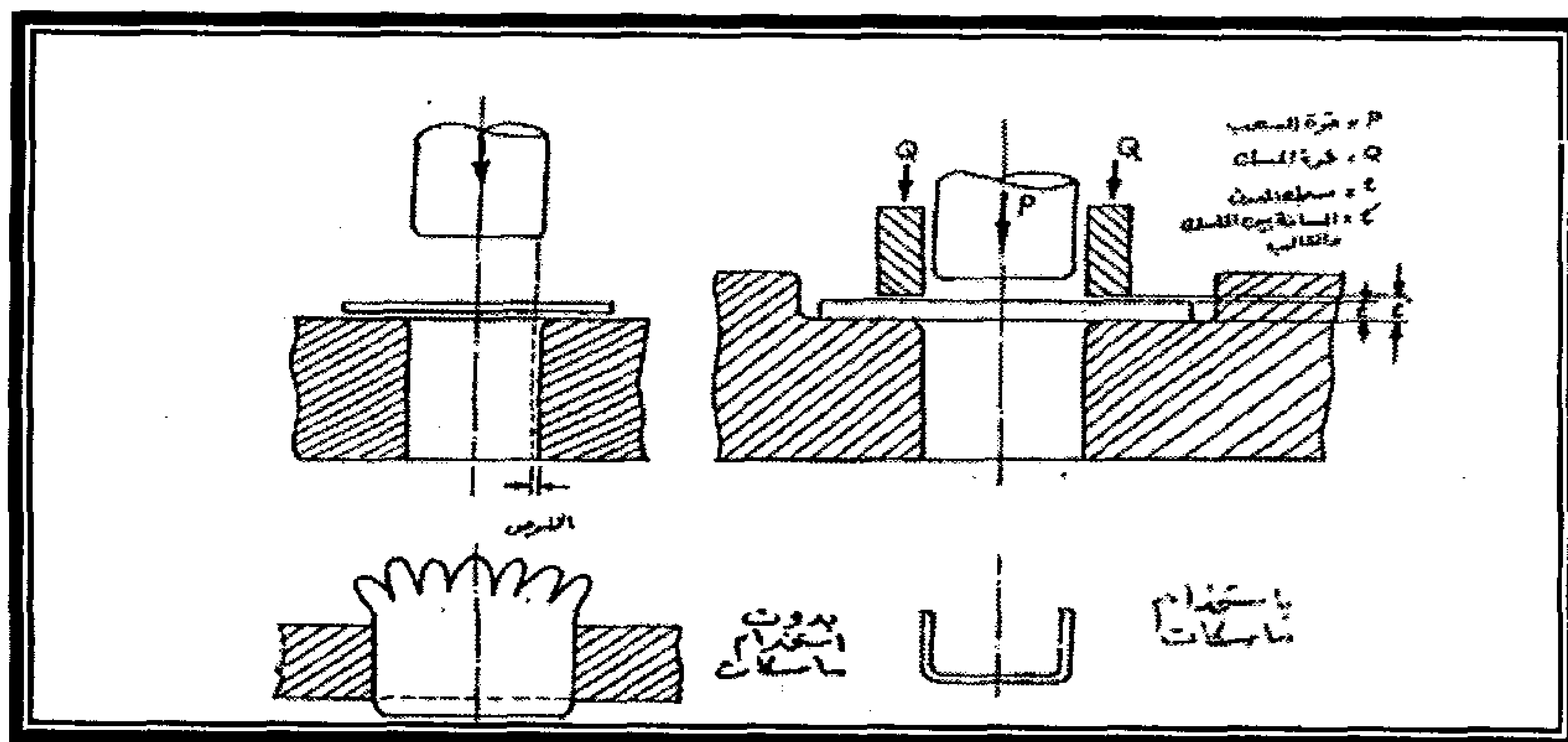
شكل (6 - 6)

عملية التخريم بطريقة القطع العكسي.

6- 2 السحب العميق (Deep Drawing)

وهي احدى عمليات التشكيل البارد التي تجرى على المعدن والذي غالبا ما يكون على شكل قرص دائري قبل عملية السحب او ان يدخل المعدن على شكل شريط حيث يتم تحديد القرص قبل عملية السحب العميق والتي تتم بنفس العدة المكونة من اداة الدفع والقالب. وقد تجرى عدة عمليات سحب على الماكنة الواحدة. تتخللها عملية تلدين للاكواب (Cups) تحت السحب، كما في سبائك النحاس او بدون تلدين كما في معدن النحاس لمطيليته العالية (High Ductility).

وتختلف عدة السحب العميق هذه عن عدة التخريم التي تتكون ايضا من اداة الدفع والقالب في كون عدد التخريم تكون ذات حد قاطع وخلوص صغير جدا بحيث تقوم بقطع المعدن، بينما تكون اداة الدفع (السنبك) في عدد السحب العميق ذات حافات منحنية (Rounded) وخلوص كبير جدا لضمان تشكيل المعدن بين اداة الدفع والقالب والتي تجرى فيها عملية التشويه اللدن للمعدن ومن ثم يحصل اختزال لسمك المعدن تحت الانتاج (السحب). وفي حالة اجراء عملية السحب العميق على صفائح معدنية خفيفة فعندها تستخدم مع قالب السحب ماسكات (Holders) وذلك لمنع تكون الاقراط (Earrings) في الاكواب المنتجة، ويوضح الشكل (6-7)هذه التقنية.



شكل (6 -7)

عملية السحب العميق و تكون الأقراط عند عدم استخدام الماسكات.

6- 2- 1 انواع الماسكات المستخدمة (Types of Holders)

هناك نوعان من الماسكات المستخدمة في تثبيت المعدن على القالب حيث تثبت مع العدة المستخدمة وهذين النوعين هما:-

1- ماسكات ثابتة توضع على مسافة من القالب مساوية او اكبرقليلا من سمك المعدن كما في الشكل(6-7).

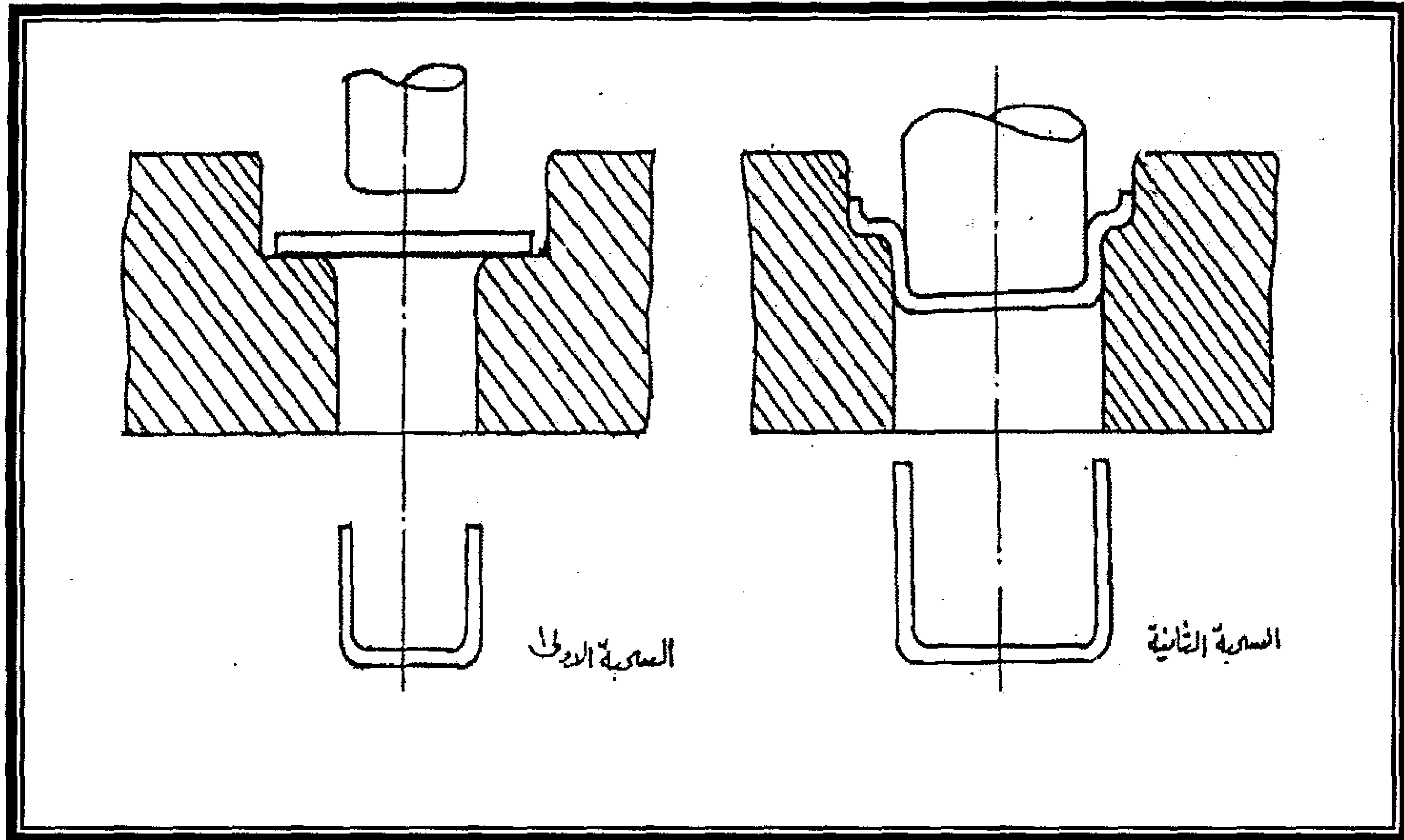
2- النوع الثاني هو النوع المتحرك ويقوم بالضغط على المعدن بوساطة لوالب اوعن طريق الضغط بالهواء او باستخدام وسادة مطا طية.

ولن تظهر حالة تكون الاقراط (Earrings)،عند استخدام ضغط قليل على المعدن، الا بشكل قليل والتي تتكون بسبب تباين خواص المعدن (Anisotropy). وتباين الخواص هذا يعني اختلاف قيم الخواص الميكانيكية عند قياسها باتجاهات مختلفة بالنسبة لاتجاه الدرفلةعلى سبيل المثال. اما في حالة استخدام ضغط كبير في مسك المعدن فان الفشل (التمزق) سيحصل في قعر الفنجان (Cup).

6- 2- 2 عملية السحب العميق (Deep Drawing Process)

أ- عملية السحب بدون استخدام ماسكات:-

وتجرى عملية السحب بعد ادخال المعدن في القالب حيث تستخدم محددات لحصر المعدن وتمركزه على فتحة القالب للحصول على اكواب متجانسة في الطول وذلك من خلال حصر المعدن وتجرى عادة عدة عمليات للسحب في العدة الواحدة وخاصة عندما يكون المعدن قليل السمك او تجرى باستخدام مكائن وعدد اخرى ويمكن ايضاح عملية السحب واعادة السحب (السحبة الثانية) للاكواب في الشكل(6-8).



شكل(6 – 8)

عملية السحب العميق بدون ماسكات.

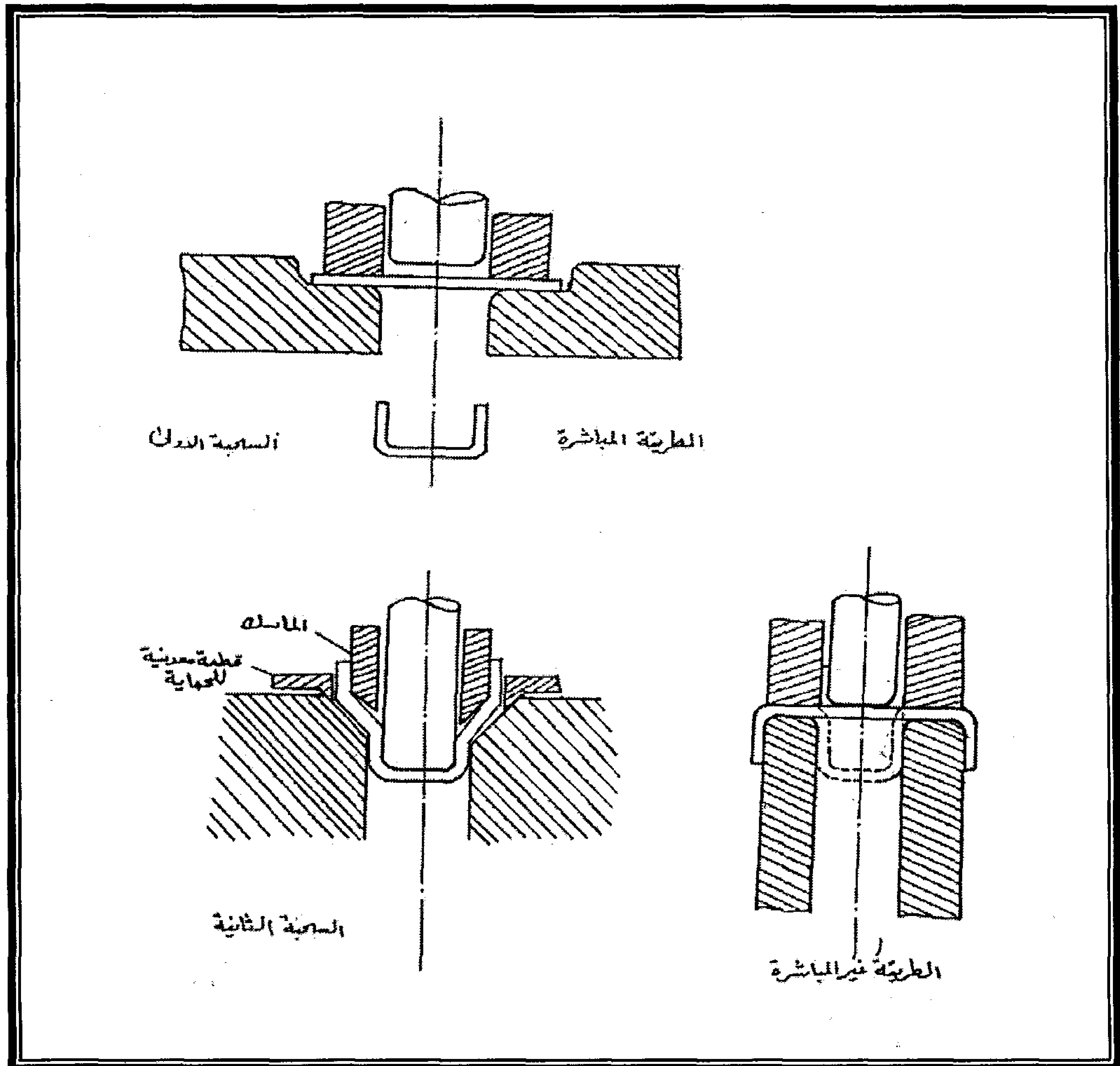
ب- السحب با ستخدام الماسكات:

وتتم عملية السحب بتشكيل الاكواب عن طريق مسك المعدن باحدى طرائق المسك التي تم التطرق اليها سابقا حيث تجرى بعدئذ عملية اعادة السحب بالطريقة المباشرة اضافة الى استخدام ماسكات اخرى مع العدة لتجرى عملية السحب الثانية، او بالطريقة غير المباشرة حيث يبقى المعدن مثبتا دون انفصال الفنجان عنه وذلك لاجراء عمليات السحب الاخرى كما في الشكل (6-9).

6- 2- 3 القوة اللازمة في عمليات السحب العميق:-

تحدد القوة اللازمة في عمليات السحب العميق واعادة السحب عوامل عديدة تعتمد على نوع المعدن المراد تشكيله ومعامل السحب (Drawing Coefficient) وسائل

التبريد المستخدم وغير ذلك من العوامل. ويمكن الاشارة الى تاثير بعض من هذه العوامل كما ياتي:-

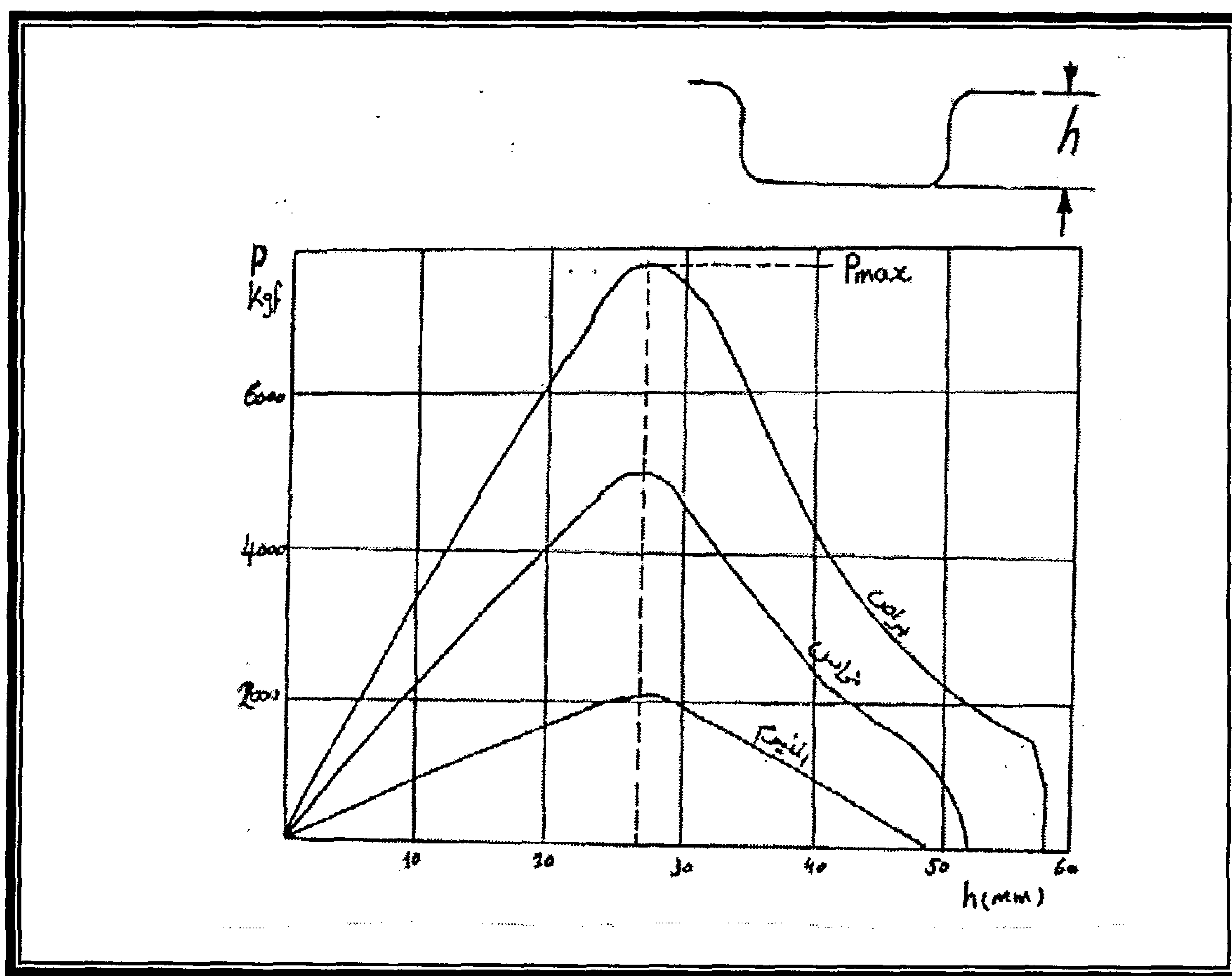


شكل (6 - 9)

يبين عملية السحب العميق باستخام ماسكات.

أ- المعدن المراد تشكيله:-

تختلف القوة المطلوبة لعملية السحب باختلاف المعدن اي باختلاف خواصه حيث كلما ازدادت مقاومة شده (Tensile Strength) كلما زادت القوة اللازمة لتشكيله ولافرق هنا بين تغير خواص المعدن نفسه، كأن يكون في حالة ملدنة مرة ومصلدة في مرة ثانية، او تشكيل معدن اخر. ويمكن ايضاح العلاقة بين القوة اللازمة وعمق السحب ولعدة معادن في الشكل(6-10).



شكل (6-10)

العلاقة بين القوة و عمق السحب لمعادن مختلفة، حيث تمثل القمة أعلى قوة.

معامل السحب:

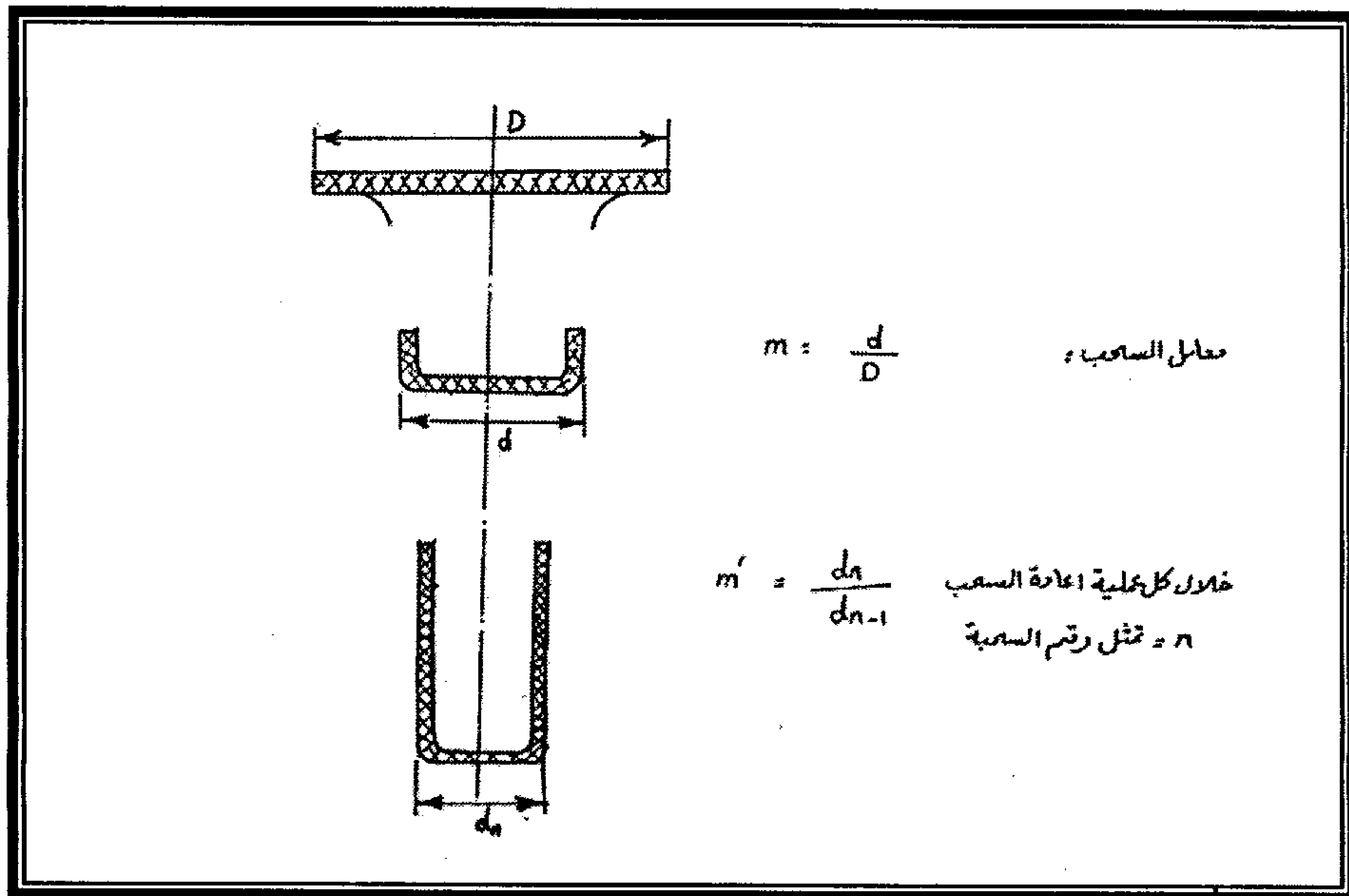
وهو يمثل النسبة بين قطر الفنجان المطلوب وقطر القرص المستخدم، حيث كلما كان معامل السحب (m) صغيرا (الشكل 6-11) كلما كانت العملية اقتصادية اكثر من حيث تقليل عدد السحبات التي يلزم اجرائها. ويحسب معامل السحب في حالة اعادة السحب (Redrawing)على الفنجان بنفس الطريقة للعلاقة بين قطر الفنجان بعد اعادة السحب وقطره قبل الاعادة.

ج- سمك المعدن:

تزداد القوة كلما زاد سمك المعدن المستخدم لعملية السحب العميق، وكذلك تزداد كلما زاد الفرق بين السمك المطلوب للفنجان المنتج وسمك القرص.

د- قطر حافة القالب:

حيث تزداد القوة مع صغر حافة القالب(عندما تكون الحافة قريبة من الحافة الحادة).



الشكل (6-11)

كيفية حساب معامل السحب.

هـ- سرعة السحب(التشغيل):

تزداد القوة اللازمة مع زيادة سرعة السحب.

و- معامل الاحتكاك:

كلما قلت كفاءة التزييت فسيزداد الاحتكاك ومن ثم سيكون مقدار معامل الاحتكاك اكبر مما يتطلب زيادة في قوة السحب.

ز- الخلوص(Clearance) :

وتتغير القوة بتغير الخلوص بين القالب واداة الدفع (السنبك) حيث تقل القوة بزيادة الخلوص.

ح- ضغط الماسكات:

تزداد القوة اللازمة للسحب كلما زاد ضغط الماسكات.

الفصل السابع

المعالجات (المعاملات) الحرارية للنحاس وسبائكه

Heat Treatments of Copper and Its Alloys

الفصل السابع

المعالجات (المعاملات) الحرارية للنحاس وسبائكه

Heat Treatments of Copper and Its Alloys

7- 1 المقدمة:

قبل الدخول في كيفية وهدف المعالجات الحرارية لا بد من التطرق الى اليات التصليد بصورة عامة. يمكن تقسيم اليات التصليد للمعادن والسبائك الى اربعة اليات وهي:-

7- 1- 1 التصليد الانفعالي

(Strain Hardening or Work Hardening)

ولزيادة صلادة او مقاومة (Strength) المعدن يتم تشكيل او تشويه المعدن على البارد (Cold Deformation) باحدى طرائق التشكيل كالشد، والدرفلة، و السحب العميق وغيرها من عمليات التصنيع الباردة. ومن مساويء هذه الطريقة نقصان مطيلية (Ductility) المعدن. ولو اريد اعادتها الى وضعها السابق يلزم تلدين المعدن عند درجة حرارة ملائمة تعتمد على درجة انصهاره ومقدار الشوائب التي يحتويها.

7- 1- 2 التصليد بتنعيم (تصغير)المقاس الحبيبي (البلوري)

(Grain Refinement Hardening)

تتناسب صلادة المعدن او مقاومته مع المقاس الحبيبي حيث تزداد الصلادة كلما صغُر المقاس الحبيبي (Grain Size) وسناتي على تفصيل ذلك لاحقا.

7- 1- 3 التصليد بالمحلول الجامد

(Solid Solution Hardening)

تزداد صلادة السبيكة كلما زادت نسبة العنصر السبيكي (Alloying Element) الذائب في المحلول الجامد. وذلك لان ذرات العنصر المذاب تكون ذات حجم يختلف عن

ذرات المعدن الاساس ومن ثم سينشأ انفعال مرن (Elastic Strain) في الشبكة البلورية(Crystal Lattice) وعلى المستوى الذري بالطبع. ونتيجة لذلك سوف يعرقل هذا الانفعال عملية انزلاق الانخلاعات (Dislocation Slipping) وعليه سوف تزداد مقاومة المعدن (السبيكة) الاساس. كما هو الحال في البراص-الفا (α -Brass) وهو سبيكة من النحاس كمعدن اساس مع الخارصين كمعدن سبيكي، كما مر ذكره.

ويمكن ان يتواجد الخارصين في النحاس مكونا محلولا جامدا معه والى حوالي% 33 عند درجة حرارة الغرفة. ونتيجة لذلك تزداد مقاومة السبيكة كلما زادت نسبة الخارصين المذابة فيها. وقد تزداد المطيلية (Ductility) مع نسبة عنصر السبك كما في حالة الخارصين وقد لاتتاثر او تقل في حالة عناصر السبك الاخرى عندما تكون في المحلول الجامد.

7- 1- 4 التصليد بالترسيب (Precipitation Hardening) او التصليد بالتعتيق (Age Hardening)

ويمكن فيه زيادة صلادة السبيكة التي تكوّن محلولا جامدا فوق الاشباع (Super-Saturated Solid Solution) عند اخمادها (Quenching) من درجة حرارة عالية نسبيا الى درجة حرارة الغرفة. وتسمى هذه المعالجة الحرارية بالمعالجة الحرارية المحلولية (Solution Heat Treatment). فعند تسخينها عند درجة حرارة واطئة نسبيا، على سبيل المثال، حوالي^{o}C 200 وحسب نوع السبيكة فستترسب دقائق صغيرة جدا (من الذرات الخارجة من المحلول الجامد) تكوّن في اغلب الاحيان مركب كيميائي معدني (Inter Metallic Chemical Compound) حيث تكون صلادة هذه الدقائق أعلى من السبيكة الأساس (Matrix) و تكون منتشرة في السبيكة بصورة متجانسة و كثيفة نسبيا مما يجعلها فعالة في اعاقة حركة الانخلاعات (Dislocations) اي تجعل السبيكة اكثر صلادة مما كانت عليه قبل التعتيق (Aging). وقد يكون التعتيق طبيعيا اي يحدث عند ترك سبيكة المحلول الجامد فوق الاشباع في درجة حرارة الغرفة ولكن لمدة اطول بكثير مما يلزم عند التعتيق صناعيا (Artificial Aging) في درجة حرارة اعلى من درجة حرارة الغرفة

وحسب نوع السبيكة. والسبب في تطلب السبيكة مدة اطول عند تعتيقها في درجة حرارة الغرفة هي ان عملية الترسيب تتم بعملية الانتشار(Diffusion) وهذه العملية تعتمد على عاملين هما الزمن ودرجة الحرارة، فكلما زادت درجة الحرارة زادت سرعة الانتشار وقل زمن الترسيب، واذا بقت السبيكة لمدة طويلة نسبيا عند درجة حرارة عالية اثناء عملية التعتيق فسيحصل نمو لهذه الدقائق المترسبة ويكبر حجمها ومن ثم يقل تاثيرها في اعاقة حركة الانخلاعات. وبالنتيجة تنخفض الصلادة مرة اخرى وتسمى هذه الحالة فوق التعتيق(Over Aging) وهي حالة غيرمرغوب بها غالبا. وسنعرّج على بعض هذه الاليات كل حسب موقعه فيما ياتي.

7- 2 اهداف المعالجة الحرارية

يعالج النحاس وسبائكه لتحقيق احد الاهداف الاتية:

ا- المجانسة (Homogenization):

وهي عملية ازالة او تخلص من العزل (Segregation) او الانفصال للمركبات المعدنية او التباين الكيميائي بين منطقة واخرى والذي يحصل في بعض المسبوكات او المعادن المشكلة على الحار خصوصا تلك التي تحتوي على القصدير والنيكل، وتحدث هذه الظاهرة بعد السكب او التشكيل على الحار ويجب معالجتها قبل تسويقها للمستهلك.

ب- التليين (Softening):

وهي عملية تلدين المعدن للتمكن من تشكيله على البارد للمراحل الاخرى ويحصل فيه إعادة تبلور(Recrystallization) للمعدن خلال عملية التلدين (Annealing). واعادة التبلور معناه نشوء بلورات (Grains) جديدة على انقاض البلورات القديمة المشوهة وتكون خالية من الاجهادات الداخلية.

جـ- ازالة الاجهادات (Stress Relieving):

وهي العملية التي تؤدي الى تقليل او ازالة الاجهادات المتبقية في المعدن والتي قد تسبب حدوث التشققات الفصلية (Season Crackings) في البراص، على سبيل المثال، او التاكل الاجهادي (Stress-Corrosion)، وتتم ازالة الاجهادات بالتسخين عند درجة حرارة اقل من درجة حرارة التلدين التي يحصل فيها اعادة تبلور، وذلك للمحافظةعلى خواص المعدن الميكانيكية دون تغيير يذكر.

د- التصليد بالترسيب (Precipitation Hardening):

وهي زيادة الصلادة لبعض سبائك النحاس عن طريق المعالجة الحرارية، والتي تمت الاشارة اليها مسبقا. فعلى سبيل المثال، يمكن زيادة صلادة سبائك النحاس الحاوية على البريليوم والتي يحتوي قسم منها على النيكل او الكوبلت او الكروم وكذلك سبيكة نحاس – كروم ونحاس- زركونيوم ونحاس- نيكل- سليكون ونحاس- نيكل- فسفور.

هـ- التصليد التحولي (Transformation Hardening):

ويُجرى لتصليد سبيكة معينة بحيث يتم تغيير طور بنيتها الى طور اخر اكثر صلادة. فبرونز الالمنيوم (ثنائي الطور) مع بعض سبائك برونز المغنيز يمكن تصليدها بالاخماد لزيادة مقاومتها دون التضحية بمقدار يذكر من مطيليتها.

و- التصليد بالتحلل المغزلي (Spinodal Decomposition):

تزداد مقاومة السبيكة عند حدوث هذا النوع من التحلل، كما هو الحال في سبيكة(67.2Cu-30Ni-2.8Cr) على سبيل المثال.

ز- التحول المنتظم (Order Transformation):

وهو عملية تغير ترتيب ذرات المعدن المذاب من الترتيب العشوائي الى الترتيب المنتظم، كما هو الحال في سبيكة البراص (55Cu -45Zn) عند معالجتها حراريا باسلوب معين، وعندها تزداد مقاومة السبيكة الى حد ما.

ح- التصليد الجهري المزدوج (Microduplex Hardening):-

ويستخدم لتصليد سبيكة معينة عن طريق السيطرة الميكانو حرارية والتي تؤدي الى التوزيع الافضل لبنية البلورات الناعمة للطورين المتواجدين.

وسناتي على اهم المعالجات التي تتم للنحاس وسبائكه وبالتفصيل.

7- 2- 1 المجانسة:

تتطلب عملية المجانسة درجة حرارة عالية وزمن طويل نسبيا. وهي تستخدم لازالة او تقليل الانعزال او الفصل في المعدن المسبوك والذي سوف يستخدم للتشكيل الساخن او البارد.علما بان انواع البراص المختلفة نادرا ما تحتاج الى المجانسة وذلك لحصول عدة عمليات تلدين للسبيكة بين مراحل الاختزال الكبير للسمك عند التشكيل على البارد ناهيك عن الدرجة الحرارية المرتفعة له عند تشكيله على الحار مما يساعد كثيرا على حصول التجانس فيه.

ويكون الانتشار او التجانس بطيئا وصعبا في برونز القصدير او برونز السليكون وسبائك النحاس نيكل مقارنة بالسبائك الاخرى للنحاس، ولهذا فان هذه السبائك تخضع عادة الى معالجة تجانس طويلة قبل التشكيل الحار او البارد. وتتكون في سبيكة برونز الفسفور الحاوية على القصدير باكثر من (8%) أعلى حالة انعزال بالرغم من ان هذه السبيكة تشكل على الحار لكنها من الناحية العملية تدرفل على البارد ايضا ولذلك تحتاج الى المجانسة لزيادة أنتشار ذرات القصدير و من ثم تقليل الهشاشية الناتجة عنه، اي زيادة متانة ومطيلية السبيكة وتقليل الصلادة قبل الدرفلة. وتتم عملية المجانسة عند درجة حرارة°C 760 تقريبا.

7- 2- 2 التلدين او التليين:

تتم عملية التليين(Softening) للمعدن المشكل على البارد بعملية التسخين الى درجة حرارة تحصل فيها عملية اعادة تبلور للحبيبات التي شُوهت اثناء إجراء عملية التشكيل.وعندما يجرى التلدين المطلوب عند درجة حرارة عالية، يفترض ان يكون

التسخين متجانسا واعلى من درجة حرارة اعادة التبلور وحينئذ يحصل نمو للبلـورات. ان درجة حرارة التلدين الشائعة للنحاس وسبائكه مبينة في الجدول(7-1).

الجدول(7-1)

يتضمن درجة حرارة التلدين للنحاس والعديد من سبائكه.

المعدن او السبيكة	الرمز حسب النظام الالماني	مدى درجة حرارة التلدين	
		°C	°F
النحاس:			
نحاس عالي التوصيلية الكهربائية	E-Cu	250-650	500-1200
نحاس منخفض الفسفور غير متاكسد	SW-Cu	325-650	600-1200
نحاس عالي الفسفورغير متاكسد	SF-Cu	375-650	700-1200
نحاس خالي من الاوكسجين	OF-Cu	425-650	800-1200
نحاس يحتوي على الفضة	STP	400-475	750-900
سبائك النحاس:			
براص تجاري	Cu95 Zn5 Cu90 Zn10	425-800 425-800	800-1450 800-1450
براص 70	Zn30 Cu70	425-750	800-1400
برونز الألمنيوم	Al 5 Cu95	425-750	800-1400
البراص الأحمر	Cu85 Zn15	425-725	800-1350
البراص الأصفر	Cu65 Zn35	425-725	800-1350
براص عالي الرصاص	Cu62Zn35Pb3	425-700	800-1350
براص- رصاص	Cu89Zn9.1Pb1.9	425-700	800-1350

سبيكة منتز ذات القطع الحر	Cu60Zn39Pb1	425-650	800-1200
بـــراص - رصـــاص عـــالي الخارصين	Cu57Zn40Pb3	425-650	800-1200
سبيكة منتز(Muntz Metal)	Cu60Zn40	425-600	800-1100
برونز الفسفور	Cu94.8Sn5P0.2	425-600	800-1100
برونزمنخفض السليكون-B	Cu98.5Si1.5	475-675	900-1250
برونزالفسفور، 1.25%E	Cu98.5Sn1.3P0.2	475-650	900-1200
نحاس- نيكل30%	Cu70Ni30	650-815	1200-1500
نحاس- نيكل10%	Cu90Ni10	600-815	1100-1500
برونز عالي السليكون	Cu97Si3	475-700	900-1300
برونز الالمنيوم(الفا)	Cu91Al 7Fe2	815	1500
برونزالالمنيوم سليكون	Cu95Al 2.8 Si1.8Co0.4	650<	1200<
برونزالالمنيوم	Cu82Al10Ni5Fe3	575-650	1050-1200
نحاس بريليوم	Cu98Be1.7Co0.3	775-1050 *	1425-1900

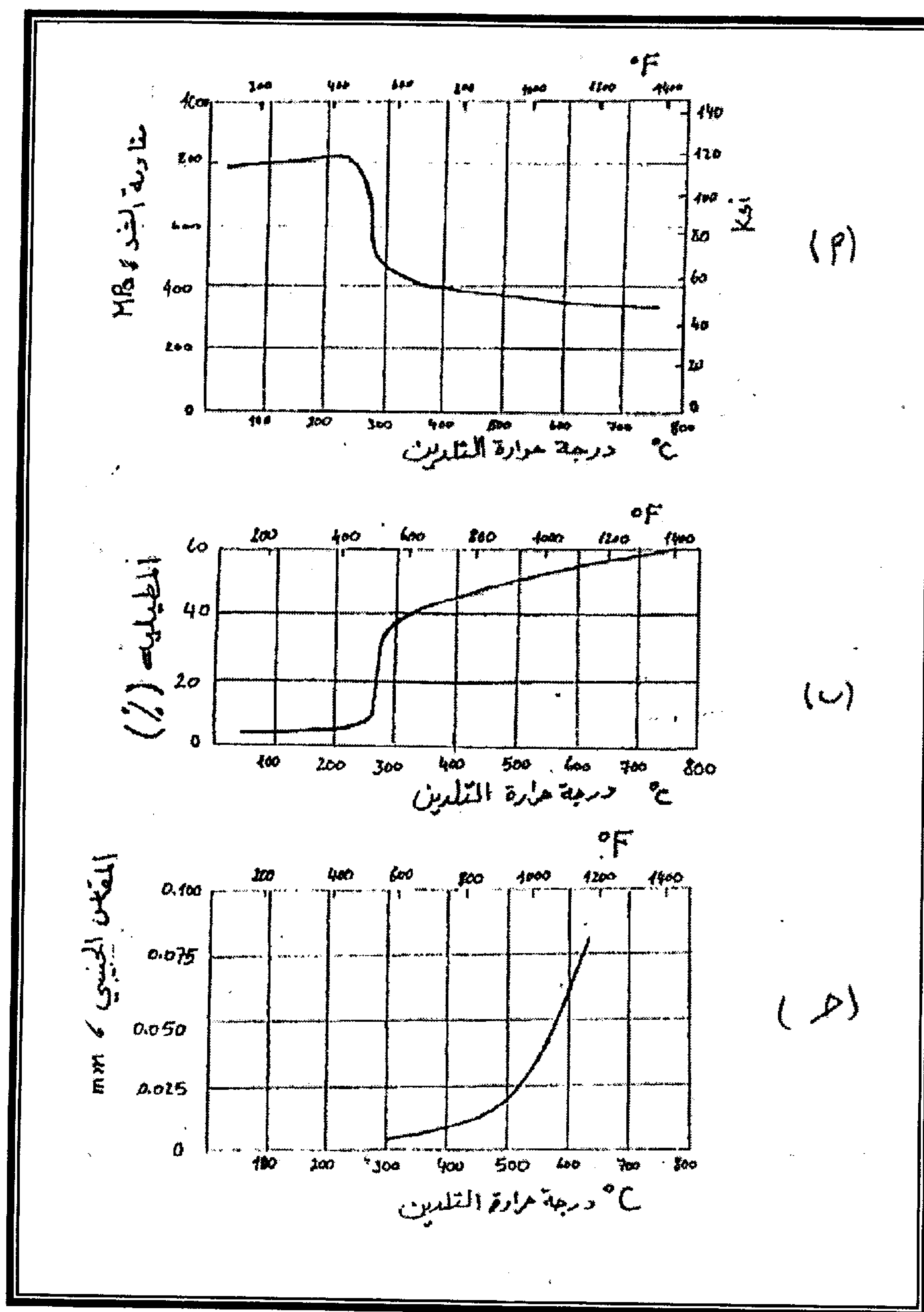
* معالجة محلولية

تتم السيطرة على عملية التلدين عن طريق تنظيم درجة حرارة المعدن والوقت المطلوب عند الدرجة الحرارية المحددة ونسبة الاختزال(التشكيل)على البارد التي اجريت على المعدن. اما بالنسبة لمعدل التسخين او التبريد فيعتبر غير ذي اهمية عدا ما يكون للسبائك الحاوية على طورين في بنيتها. وتعتبرطريقة التسخين وتصميم الفرن وجوّهِ وشكل وحجم القِطع او المعدن ذات اهمية في عمليات التلدين لكونها تؤثرعلى تماثل النتائج وكلفة التلدين.

يمثل المقاس الحبيبي للنحاس وسبائكه المعيار القياسي لحساب التلدين للمعدن وذلك لان عدة متغيرات يمكن ان تؤثرعلى عملية التلدين، كما انه من الصعب التنبأ بدرجة حرارة وزمن محددين و اللذان يعطيان المقاس البلوري (الحبيبي) المطلوب للمعدن.

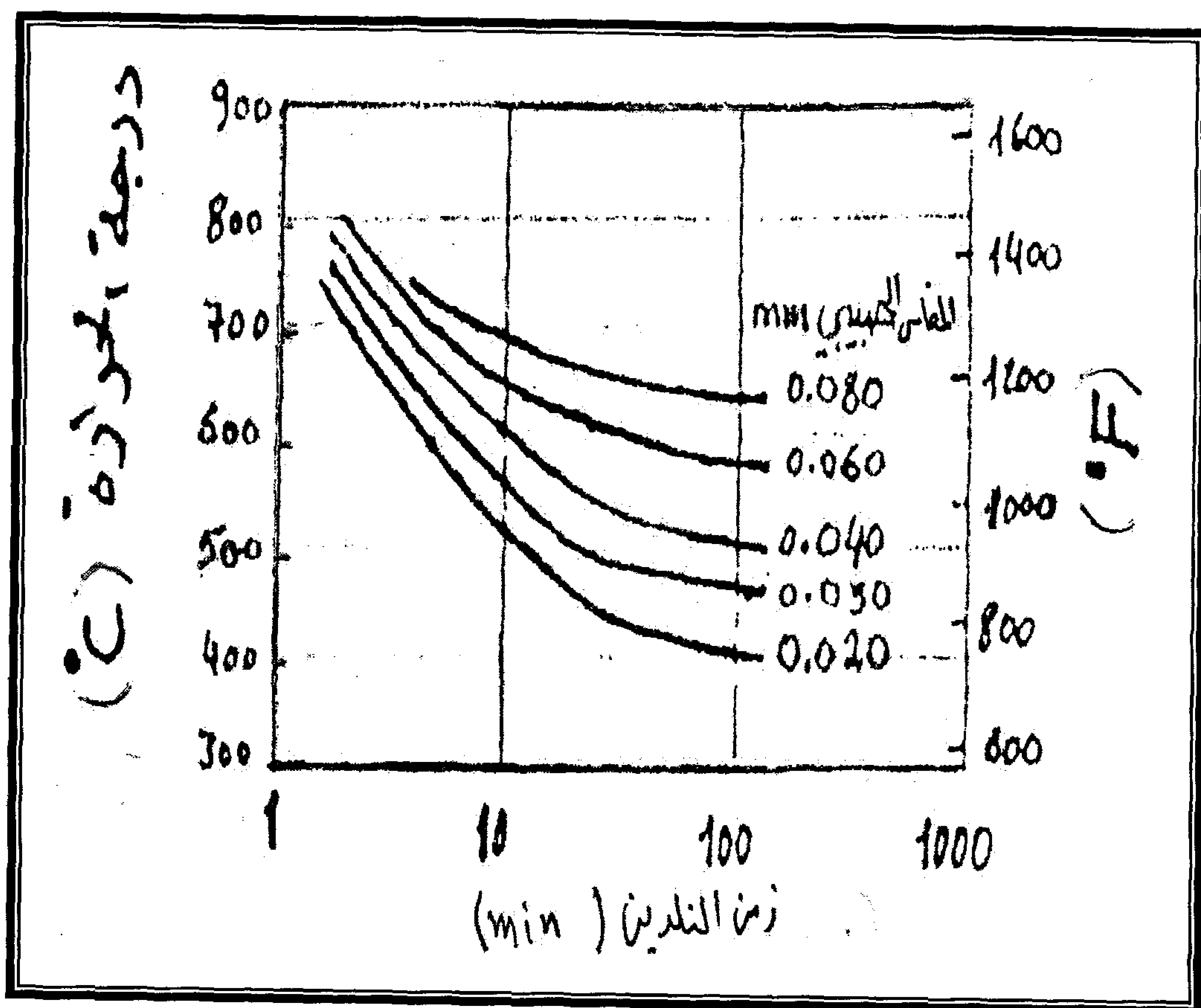
يبين الشكل(7-1 أ، ب، ج) المقاومة والمطيلية والمقاس الحبيبي وعلاقتها بدرجة حرارة التلدين لاسلاك مسحوبة من السبيكة (65Cu35Zn) حيث يمكن تطبيق هذه المنحنيات على هذه السبيكة عند استخدام معين، وقد لايمكن الحصول على نفس النتائج اذا أختلف مقدار التشكيل على البارد وعند نفس ظروف التلدين.

يمثل الشكل (7 – 2) علاقة درجة الحرارة التي تعطي مقاس حبيبي مختلف لمنتج واحد هو صفائح من سبيكة (65Cu35Zn)مدرفلة وملدنة عند درجات حرارة وازمان مختلفة.



الشكل(7-1)

علاقة خواص الاسلاك المسحوبة بدرجة حرارة التلدين للسبيكة (65 Cu35Zn).



شكل (7 – 2)

تغير المقاس الحبيبي الناتج مع درجة الحرارة و زمن التلدين.

أن زيادة نسبة التشكيل البارد السابق لعملية المعالجة الحرارية تقلل من درجة حرارة أعادة التبلور. كما ان قلة نسبة التشكيل البارد يؤدي الى مقاس حبيبي أكبر بعد عملية أعادة التبلور. وعند درجة حرارة وزمن تلدين ثابتين فان المقاس الحبيبي الكبير الاول قبل التشكيل (البارد) يعطي مقاسا حبيبيا كبيرا نسبيا بعد اعادة التبلورو العكس صحيح اي عندما يكون المقاس الحبيبي الاول صغير قبل التشكيل يُعطي مقاساً حبيبيا صغيراً. وفي التطبيقات للأغراض التجارية فان سبائك النحاس تلدن عادة بدرجة حرارة

تنخفض تدريجيا مع زيادة التشكيل على البارد قبل التلـدين. امـا درجـة حـرارة التلـدين العالية فانها تعجل من التجانس وتزيد من ليونة السبيكة مما يسمح بزيادة نـسبة التـشكيل البارد اللاحق والتي تعطي جدوى اقتصادية أكبر.

وفي عمليات التلدين الصحيحة يصغّر المقاس الحبـيي تـدريجيا للحـصول علـى المقاس الحبيي المرغوب به أخيراً بسبب الخواص الميكانيكيـة الجيـدة للبنيـة الناعمـة. تـتم عملية تلدين واحدة او اثنتين، بين مراحل التشكيل البارد، وقبل التلدين النهـائي وذلـك للحـصول علـى الـسمك النهـائي المطلـوب اولا والحـصول علـى مقـاس حبـيي معـين ومتجانس (اي ليس في البنية حبيبات خشنة واخرى ناعمة) في الحزمة (الوجبة) الواحـدة او الحزم المختلفة من الانتاج.

7- 2- 3 السبائك المستقرة المقاس الحبيبي

(Grain Size Stabilized Alloys)

لقد طُورت سبائك نحاس متعددة للحصول على مقاس حبيي ثابت ومستقر عن طريق التوزيع المنتظم للطور الثاني، على سـبيل المثـال، سـبائك نحـاس- حديـد كمـا في (.37Cu-1.0Fe-0.3P98)و((97.5Cu-1.5Fe-0.05P-0.12Zn)، (97Cu – 1.5Fe – 0.1P-0.8Co-0.6Sn) و سـبائك برونـز الألمنيـوم و الـبراص الحـاوي علـى الألمنيـوم كمـا في(90Cu8Al2Ni) و(95Cu2.8Al1.8Si0.4Co) و(73.5Cu22.7Zn3.4Al0.4Co) و(75.3Cu22.7Zn3.4Al0.6Ni).

تحافظ هذه السبائك على المقاس الحبيي الناعم عند درجات حرارة اقل من درجة حـرارة التبلور لهذه السبائك وحتى درجة الحرارة التي يتحلـل عنـدها الطـور الثـاني والـتي يبـدأ بعدها نمو الحبيبات. وتعكس خاصية المقاس الحبيي الخواص الميكانيكية للـسبيكة وحتـى درجة حرارة مقدارها ثلث درجة حرارة اعادة التبلـور لتلـك الـسبيكة تقريبـا. وبـصورة عامة هناك حالتان من التلدين احداهما تتم عند درجـة حـرارة اعلـى بقليـل مـن درجـة حرارة اعادة التبلور والثانية تتم عند درجات حرارة اعلى بكثيرمن درجـة حـرارة اعـادة التبلور ولكن لاتصل الى درجة الحرارة التي يحصل عندها نمو سـريع للحبيبـات. والحالـة الثانية آنفة الذكر تعطي ليونة اكبر للسبيكة.

7- 2- 4 دور المقاس الحبيبي في الخواص الميكانيكية:

ان للمقاس الحبيي دور كبيرفي الخواص الميكانيكية للمعدن كالصلادة ومقاومة الخضوع وحد الكلال ومقاومة الشد والمتانة(Toughness) والمطيلية حيث تتحسن بصورة ملموسة عند تصغير الحبيبات لنفس السبيكة. ولذلك يعتبر تنعيم الحبيبات (البلورات) احد اهم آليات تصليد وتقوية المعدن ومن دون التاثير على مطيلية بل على العكس قد تتحسن ايضا كما لاحظه العديد من الباحثين.

كما لاحظوا ايضاً ان اجهاد الانسياب(Flow Stress)[اي المقاومة عند اي انفعال ابتداء من الصفر(Yield Point) وحتى الانفعال عند اعظم مقاومة شد] يعتمد على المقاس الحبيي(Grain Size)بعلاقة بسيطة تسمى معادلة بيج (Petch Equation) وهي:

$$б\varepsilon = б_0(\varepsilon) + Kd^{-\frac{1}{2}}$$

حيث

d = المقاس الحبيي

бε = اجهاد (مقاومة) الانسياب

K و(ε) $б_0$ = ثابتان

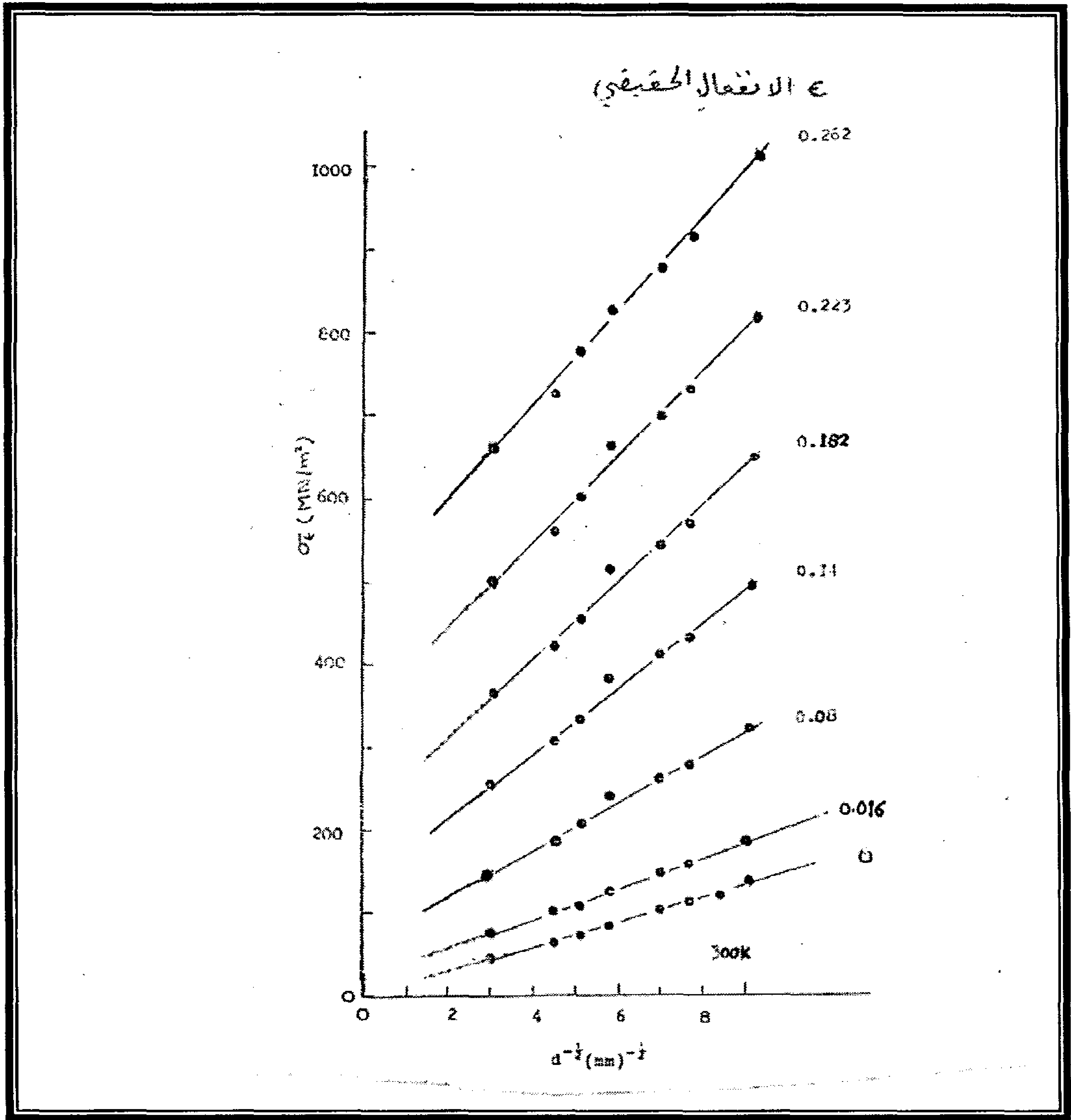
وهذان الثابتان يعتمدان على طبيعة السبيكة وظروف الفحص. والشكل(7–3 أ وب) يبين هذه العلاقة لسبيكة براص (30–70) وعند درجتي حرارة الغرفة و200°C. كما وجدوا أن نفس العلاقة سائدة للصلادة وخواص اخرى. اضافة لما لاحظوه من علاقة بسيطة ايضا بين درجة حرارة الانتقال(Transition Temperature) في الفولاذ (Steel) والمقاس الحبيي اي انه كلما صغر المقاس الحبيي كلما قلت درجة حرارة الانتقال اي ازدادت المتانة.

تزداد الخواص الميكانيكية اعلاه عند تصغير المقاس الحبيي عند درجات الحرارة الواطئة نسبيا وحسب درجة حرارة انصهارالمعدن اي اقل من حوالي(0.5 Tm)حيث تمثل Tm درجة حرارة انصهار المعدن المطلقة.

اما عند درجات الحرارة العالية اي اعلى من(0.5 Tm) فللمقاس الحبيبي دور اخر عكس ما لدوره عند درجات الحرارة المنخفضة. اي ان مقاومة الشد تكون اقل في السبيكة ذات المقاس الحبيبي الاصغر من نظيرتها ذات المقاس الحبيبي الاكبرعند درجات الحرارة العالية نسبيا. وهذه ناحية مفيدة جدا عند اجراء عمليات التشكيل على الحار مثل الدرفلة الحارة (Hot Rolling) والبثق والسحب العميق وغير ذلك. لأن السبيكة ذات المقاس الحبيبي الصغير تحتاج الى قوة اقل من نظيرتها ذات المقاس الحبيبي الكبير ولنفس مقدار التشكيل وعند نفس درجة الحرارة.

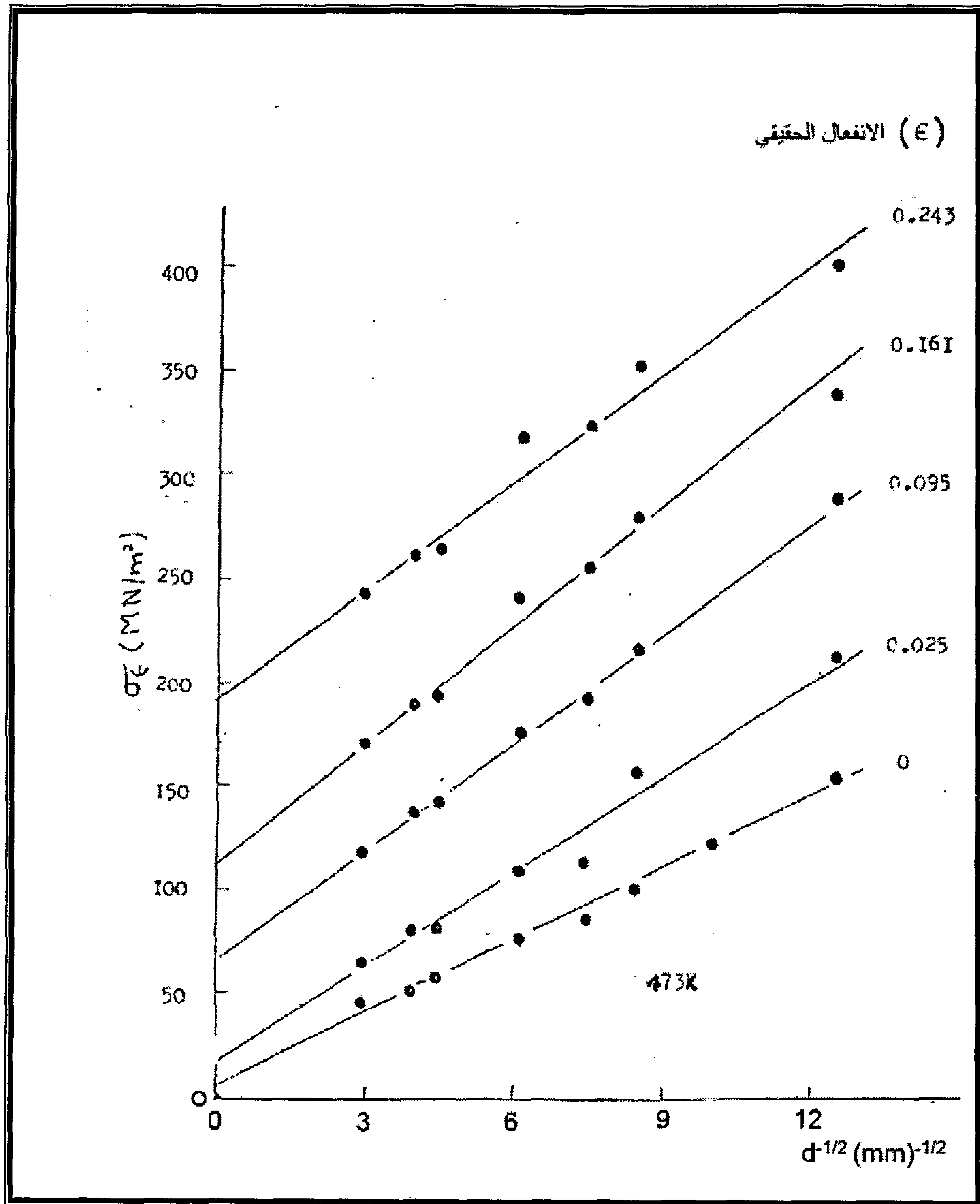
وتفسير ذلك ان الحدود البلورية (Grain Boundaries)تكون اقوى من داخل البلورة عند درجات الحرارة الواطئة اي انها تعيق حركة الانخلاعات(Dislocations)خلال عملية التشكيل ولذلك يلزم تسليط اجهاد اكبر لاثارة مصدر توليد انخلاعات جديد في البلورة المجاورة نتيجة للاجهاد المتولد من تراكم الانخلاعات على الحد البلوري بين هذه البلورة والتي تجاورها. اذن فالحدود البلورية تعيق عملية التشكيل البارد، لذلك تعتبرمصدر تقوية للسبيكة.

اما عند درجات الحرارة العالية فتكون الحدود البلورية اضعف من داخل البلورات. فالتشكيل يكون اسهل لان البلورات تنزلق(Sliding) الواحدة على الاخرى من خلال الحدود البلورية حيث ان درجات الحرارة العالية تساعد على انتشار ذرات السبيكة خلال الحدود البلورية بصورة اسهل بكثير مما هي عليه داخل البلورة(Grain). وبذلك تنساب المادة خلال الحدود البلورية ويحدث الانزلاق. ولهذا نحتاج الى اجهاد اقل عند تشكيل السبيكة ذات المقاس الحبيبي الصغيرمقارنة بتشكيل نفس السبيكة ولكن ذات مقاس بلوري اكبر.وهذه خاصية ايجابية عند عمليات التشكيل الحار.وسلبية عندما يراد لها ان تقاوم الزحف(Creep)كما هو الحال في المراجل البخارية ومحطات توليد الطاقة وريش التوربينات وغيرها من تطبيقات درجات الحرارة العالية.



شكل (7-3 أ)

العلاقة بين المقاس الحبيبي و اجهاد الأنسياب عند درجة حرارة الغرفة و لمقادير مختلفة من الأنفعال الحقيقي لسبيكة براص الفا (30-70).



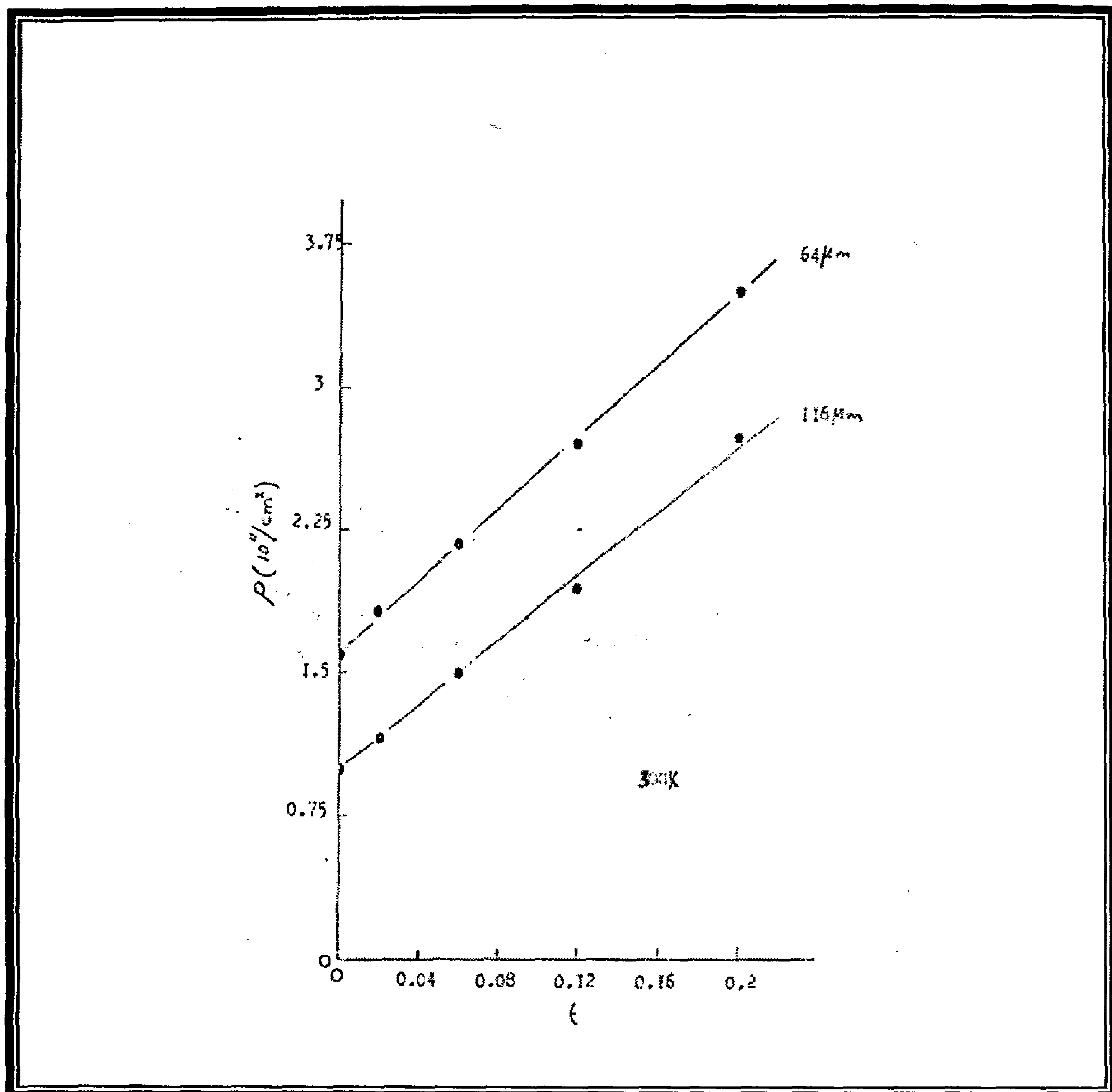
شكل (7-3 ب)

العلاقة بين المقاس الحبيبي (d) و اجهاد الأنسياب (6ε) عند درجة حرارة (200°C) لسبيكة براص الفا (30-70).

ولهذا تفضل السبيكة ذات المقاس البلوري الكبير، في هذه الحالات، والافضل ان لاتكون فيها اية حدود بلورية اي ان تكون بلورة احادية(Single Crystal) ان أمكن ذلك.

ومن المعلوم انه كلما زاد مقدار التشكيل اللدن على البارد، والى حد معين، كلما زادت كثافة الانخلاعات (Dislocation Density) خصوصا عند السبائك ذات طاقة خلل النسق الواطئة (Low Stacking Fault Energy) وبصورة خطية، كما في سبائك برونزيات الالمنيوم وبرنزيات القصدير و البراص..... ولان الحدود البلورية تعيق حركة الانخلاعات فستكون كثافتها اكبر في السبيكة ذات المقاس الحبيي الاصغرمما في نظيرتها ذات المقاس الحبيي الاكبروعند اي مقدار تشكيل بارد محدد، والشكل(7-4) يبين ذلك في سبيكة البراص(30-70).

يختلف المقاس الحبيي والخواص الميكانيكية المطلوبة للاجزاء المشكلة على البارد اختلافا كبيرا مع نوع السبيكة ومع نسبة ونوع التشكيل الذي يجرى للمعدن. ان العلاقة التقريبية بين المقاس الحبيي ونسبة التشكيل البارد للنحاس وسبائكه مع قابلية تنعيم سطح المنتج النهائي مبينة في الجدول(7-4).



شكل(7-4)

كثافة الأنحلاعات (ρ) مع الأنفعال الحقيقي (ε) عند درجة حرارة الغرفة و للمقاس الحبيبي 64μm و 116 μm في سبيكة براص الفا (30-70).

جدول(7-2)

المقاس الحبيي المطلوب لمختلف عمليات التشكيل البارد.

الاستخدام	معدل المقاس الحبيي(mm)
عملية التشكيل البسيط	0.015
سحب قليل، قابلية تنعيم سطح ممتازة	0.025
افضل قابلية سحب وتنعيم	0.035
سحب عميق مع قابلية تنعيم مقبولة	0.050
سحب عميق مع صعوبة التنعيم	0.070

ويستخدم هذا الجدول بالنسبة لسبائك البراص واطيء النحاس نسبيا(70Cu-30Zn) و(65 Cu-35Zn). اما بالنسبة للسبائك الحاوية على نسبة اعلى من النحاس والتي تكون ذات مطيلية اكبر ولا تتصلد بسرعة عند التشكيل البارد، فان المقاس الحبيي(0.035mm) يعتبر مقبولا لعمليات السحب العميق لهذه السبيكة.

ان الهدف من المعالجات الحرارية البينية في عمليات التشكيل على البارد هو تليين السبيكة(زيادة مطيليتها) نسبيا للحفاظ على سطح نقي صافي للمنتج ومن ثم تقليل اوعدم الحاجة الى عملية صقل لسطح المنتج النهائي.ويجب ان يتم التلدين(التليين)بمراحل متعددة حسب مقتظيات نسب التشكيل وصولا الى الهدف النهائي لخواص ومواصفات المنتج.

7- 2- 5 احتياطات عامة:-

أ- اختبارالنماذج: يجب ان تعكس خواص النماذج مدى درجة الحرارة في الفرن المحمل بكمية كبيرة من السبيكة. فبالنسبة للسبائك ذات الطور الواحد البسيط، فان ادق قياس لحالة التلدين هو معدل المقاس الحبيي حيث يمثل القاعدة الاساسية في قبول اورفض المنتج. ان عملية قياس المقاس الحبيي تتطلب اجهزة

خاصة قد لا تتوفر في بعض المصانع لذلك يستعاظ عنها بقياس صلادة روكويل لكونها اكثر ملائمة للانتاج الكمي حيث لاتحتاج الا الى عمليات بسيطة لتحضيرالنماذج الملائمة لهذه الطريقة اضافة الى انها صالحة الى حد ما للمقارنة مع المقاس الحبيي باستخدام طريقة الجمعية الامريكية للفحص والمواد(ASTM).

ب- **تاثير المعالجة الحرارية:** نتيجة لتاثير مدى اونسبة التشكيل البارد والمقاس الحبيي الناتج بعد اخر عملية تلدين على النتائج المطلوبة لمرحلة التلدين المحدد، فان ذلك يتطلب اجراءات تحضيرية واعداد جداول تلدين لتلك السبيكة ليتم تحديد ظروف المعالجة الحرارية الناجحة.

جـ- **تاثيرالزمن:** ان الفرق بين درجة حرارة الفرن والمعدن قائم في اغلب الاحيان، اما الزمن فيعتبر ذو تاثير مهم للوصول الى درجة الحرارة المطلوبة وعلى تجانس درجة حرارة الفرن، ولذا فان الوقت يجب ان يتغيرتبعا لحجم ونوع تحميل الفرن من السبائك. لذا يجب ان توضع المقاييس الحرارية بالموضع الصحيح حسب تحميل الفرن كي تعطي مقدارا صحيحا لدرجة حرارة المعدن.

د- **الاكسدة:** يجب تقليل مقدارالاكسدة في الافران لتقليل الفقدان في المعدن اولا وتقليل كلفة عملية ازالة طبقة الاوكسيد من المعدن ثانيا ومن ثم تحسين نوعية سطح المنتج. ولتحقيق ذلك يستخدم في بعض الاحيان الامونيا المفككة وغاز ناشرللحرارة في الفرن وذلك للحصول على معدن ذي سطح لماع(غير مؤكسَد). ويعطي جو الفرن المسيطر عليه(Controlled atmosphere) نتائج اقتصادية افضل.

هـ- **هشاشية الهيدروجين:** عند تلدين النحاس الحاوي على الاوكسجين، فيجب تقليل نسبة الهيدروجين في جو (محيط) الفرن تجنبا لحصول حالة الهشاشية. وعند درجة حرارة اقل من 480 °C فان نسبة الهيدروجين يجب ان لاتزيد على% 1 وكلما ارتفعت درجة الحرارة عن ذلك فيجب تقليل نسبة الهيدروجين حتى تقترب من الصفر.

و- **التلدين للحصول على خواص شد معينة**: بسبب التاثر الشديد لخواص الشد بدرجة حرارة التلدين فانه من الصعب الحصول على قيم ثابتة لمقاومة الشد(Tensile Strength) ومعدل الصلادة لمعدن ملدن بدرجة حرارة قريبة من درجة اعادة التبلور واخر ملدن عند درجة حرارة اعادة التبلور. ان السيطرة على معدل التسخين ودرجة الحرارة كافيان للحصول على خواص ميكانيكية متماثلة تقريبا. وكمحصلة فان تلدين الحزمة(Batch) للحصول على خواص معينة تتم فقط عندما تكون الخواص المطلوبة ليست حرجة. وعند تلدين الحزمة فان الطريقة العملية هي بالتلدين الكامل ومن ثم الحصول على الخواص المتوسطة المرغوبة عن طريق تحديد مقدار التشكيل البارد.

ان السيطرة المغلقة على دورة التسخين في عملية التلدين المتواصل ممكنة حيث ان هذه الطريقة يمكن ان تعطي تجانسا اكثر في خواص الحزمة.

ز- **التحميل**: ليس من الصحيح تلدين حزمة(شحنة)متكونة من احجام وابعاد ونوعيات مختلفة بسبب اختلاف معدلات التسخين لكل منها والتي تؤدي الى حصول اختلاف في خواصها.

ح- **التشققات النارية**(Fire Crackings): وهي نوع من التشققات التي تحدث في بعض السبائك التي تحتوي على اجهادات متخلفة، عند تسخينها بمعدل تسخين عال، ومنها السبائك الحاوية على الرصاص في تكوينها. والافضل هو التسخين ببطء حتى تتم عملية ازالة الاجهادات المتخلفة حيث يمكن تفادي حصول مثل هذه التشققات.

ط- **الشوائب**: تؤثر الشوائب غالبا في البنية الميتالورجية للسبيكة فعندما يراد مقاس حبيي معين في السبيكة للحصول على خواص ميكانيكية معينة، فيجب عندئذ السيطرة على نسبة الشوائب. ومما لاشك فيه فان نسبة الشوائب تؤثر على المقاس الحبيي وعلى درجة حرارة اعادة التلدين للسبيكة ومن ثم على الخواص الميكانيكية لها.

ي- **الصدمة الحرارية**(Thermal Shock): وتكون ناتجة اما عن التسخين السريع او التبريد السريع ومن ثم حدوث الاجهادات الحرارية التي تؤدي الى حصول التشققات كما في البراص الحاوي على الرصاص.

ك- **بقع الكبريت**: وهي ناتجة عن وجود زيادة في نسبة الكبريت للوقود او الزيت المستخدم في التزييت والمتخلف على سطح السبيكة. وتظهر بعد عمليات المعالجة الحرارية على شكل بقع حمراء على البراص او بقع بنية محمرة على السبائك الحاوية على نسبة نحاس عالية. ويتم تفاديها عن طريق ازالة الزيوت عن القِطع قبل عملية التلدين.

7- 2- 6 **ازالة الاجهادات**(Stress Relieving)

تمتاز بعض سبائك النحاس بظهور حالة التشققات الآنية بسبب الاجهادات المتخلفة عند الطبقة السطحية للمعدن و التي تحصل عند التشكيل بدرجة حرارة اقل من درجة حرارة اعادة التبلور له حيث قد يحصل التاكل الاجهادي (Stress Corrosion Cracking).ان الاجهادات المتخلفة تسهم في حدوث هذا النوع من التاكل والذي يحدث في السبائك التي تحتوي على نسبة خارصين اكثرمن% 15 اضافة الى السبائك الحاوية على نسبة نحاس عالية كما في برونز الالمنيوم وبرونز السليكون. وبصورة عامة فان اغلب سبائك النحاس تكون معرضة لحصول التشققات عند تواجد الاجهادات فيها.

التطبيقات الصناعية لعملية ازالة الاجهادات تشمل اما على ازالة الاجهادات ميكانيكيا كما في الانحناء والتسطيح، او حراريا بالتسخين تحت درجة حرارة اقل من درجة حرارة اعادة التبلور او بكلتا الطريقتين.ان ازالة الاجهادات حراريا غالبا ما تستخدم للمنتجات النهائية لمنع حدوث اي فشل نتيجة التعرض لجو تاكلي، ويبين الجدول(7-3) درجات الحرارة اللازمة لازالة الاجهادات لمجموعة من السبائك وبزمن قدره ساعة واحدة.

ان استخدام درجات حرارة اعلى لازالة الاجهادات وبزمن اقل تعتبر افضل لكونها عملية اقتصادية من ناحية الزمن والكلفة ولكن على حساب التضحية بالخواص

الميكانيكية الى حد ما. اما استخدام درجات حرارة اوطئ مع زمن اطول فسوف يوفر ازالة كاملة للاجهادات وبدون اي نقص في الخواص الميكانيكية. ومن الناحية العملية فان صلادة المعدن المشكل على البارد ومقاومته ستزداد قليلا (في حالة ازالة الاجهادات عند درجة حرارة واطئة نسبيا) بالاضافة الى الفائدة في عدم تاثر الابعاد اثناء عملية ازالة الاجهادات حراريا. كما تستخدم ايضا للاجزاء الموصولة باللحام او الهياكل المشكلة على البارد عن طريق تسخينها الى حوالي °C 110. اما المنتجات المصنعة فان درجة الحرارة لازالة الاجهادات فيها هي اعلى من هذه القيمة.

جدول(7-3)

درجة حرارة ازالة الاجهاد في ساعة واحدة لبعض سبائك النحاس.

السبيكة	درجة حرارة ازالة الاجهاد في ساعة واحدة	
	°C	°F
Cu60-Zn40	205	400
Cu61.5Zn35.5Pb3	245	475
Cu71Zn28Sn1	290	550
Cu94.8Sn5Pb0.2	190	375
Cu70Ni30	245	475
Cu65Ni18Zn17	245	475
Cu95Zn5	190	375
Cu90Zn10	205	400
Cu85Zn15	230	450
Cu80Zn20	245	475
Cu70Zn30	260	500
Cu65Zn35	260	500

7- 2- 7 التصليد بالترسيب وتوابعه:

لقد تم ذكر آلية التصليد بالترسيب بصورة عامة. اما الحصول على صلادة ومقاومة عاليتين، في اغلب سبائك النحاس، فتتم عن طريق التشكيل على البارد. اما سبائك النحاس التي تحوي نسبة قليلة من البريليوم والكروم والزركونيوم والنيكل مع السيليكون او الفسفور فيتم تصليدها عادة عن طريق آلية الترسيب التي سبق التطرق اليها.

ان جميع السبائك المصلدة بالترسيب تمتلك سلوكا مماثلا للسبائك الاخرى ويمكن ان تعالج للحصول على الليونة المطلوبة عن طريق المعالجة الحرارية المحلولية. اي رفع درجة حرارتها الى درجة عالية نسبيا ولزمن معين وحسب السبيكة ثم اخمادها(Quenching) الى درجة حرارة الغرفة. ويمكن اجراء عملية التصليد بالترسيب عن طريق التعتيق (Aging) بدرجة حرارة معينة ولزمن لايزيد على ثلاث ساعات. ان مزايا هذه السبائك المعالجة بهذه الطريقة هي:

1- سهولة التصنيع بعد استلامها كسبيكة معالجة محلوليا اي في حالة الليونة.
2- سهولة تنفيذ عملية التصليد بالتعتيق عن طريق استخدام درجات حرارة متوسطة وتتم عادة في الهواء اي من دون الحاجة الى جو مسيطرعليه او الحاجة الى السيطرة على عملية التبريد، كما ان زمن التعتيق لايعتبر حرجا.
3- يمكن الحصول على خواص توافقية تشمل المقاومة والصلادة والمطيلية والتوصيلية الكهربائية والمتانة (Toughness) عن طريق تغيير درجات حرارة التعتيق ومدته، حيث ان المتطلبات الخاصة لكل تطبيق تحدد حالة التصليد التي يمكن ان تتم للمعدن.

تجهز السبائك القابلة للتصليد بالتعتيق بعد ان تعالج محلوليا، او معالجة محلوليا ومشكلة على البارد، او تكون في حالة مصلدة بالتعتيق، وفي كل الاحوال يشار الى حالة المعالجة الحرارية التي عليها السبيكة بحروف و ارقام معينة. ان عملية التصليد للسبائك قبل اجراء عملية التشكيل غير ضرورية، وفي بعض الاحيان تتم ازالة الاجهادات فقط بعد عملية التشكيل. تستخدم هذه الطريقة عادة للنوابض الكابولية(Cantilever Type Spring) وبعض

اجزاء المكائن المعقدة التي تتطلب مقاومة عاليـة(High Strength)عنـد درجـات الحـرارة المتوسطة.

أ- نحاس- بريليوم Cu-Be

يمكن لسبيكة النحـاس- بريليـوم المشكلة ان تعطـي مـدى واسـع مـن الخـواص الميكانيكية اعتمادا على طبيعة المعالجة المحلولية والتعتيق ونسبة التشكيل البارد قبل او بعد اي مرحلـة مـن مراحـل المعالجـة الحراريـة. وبمـا ان سـبيكة النحـاس- بريليـوم المسبوكة(المصبوبة)غير مشكلة على البارد لذلك فان تغيير خواصها يتم عن طريق المعالجة المحلولية والتعتيق فقط.

تجهز سبائك النحاس- بريليوم بعد المعالجة المحلولية او معالجة محلوليا ومشكلةعلى البارد، حيث يتم تصنيع الاجزاء مباشرة منها. وقد لا تجـرى المعالجـة المحلوليـة مـن قِبـل المصنع الاعنـدما يـراد متطلبـات خاصـة فيهـا كالليونـة(Softness) او المنتجـات نـصف النهائية التي تكون جـاهزة للتـشكيل اللاحـق او لاصـلاح الاجـزاء الـتي تمـت معاملتهـا بصورة غير صحيحة عند اجراء عملية التعتيـق. ويجـب ان تـتم عمليـة المعالجـة المحلوليـة بعناية للحصول علـى المقـاس الحبـيبي المطلـوب اضـافة الى ملاحظـة الابعـاد والخـواص المطلوبة والسماحات مع الاخذ بالاعتبار تقليل اكسدة السطح او منعها.

يجب ان تثبت حدود درجات الحرارة عندما يراد الحصول علـى خـواص معينـة نتيجة لاجراء المعالجة المحلولية. اما اذا زادت درجة الحرارة المحلولية فـسوف نحـصل علـى حبيبات خشنة وهو ما يدعى الافراط في التسخين (Over Heating) مما يـؤثر سـلبا علـى مطيلية المعدن اي زيادة هشاشيته ومن ثم لافائدة ترجى في عملية التعتيق بعد ذلـك. امـا المعالجة المحلولية بدرجة حرارة اقل من الدرجـة المحـددة فتـؤدي الى عـدم اكتمـال ذوبـان الطور الثاني المشبع بالبريليوم والذي يسبب نقصان في صلادة السبيكة بعد اجـراء عمليـة التعتيق.

ان وقت المعالجة المحلولية عند درجة الحرارة المحددة يعتمد على الطور الثاني المشبع بالبريليوم فيجب ان ينحل (يذوب) في المحلول الجامد بصورة متكاملة كي تعطي الـسبيكة

اعلى مقاومة بعد التعتيق. تزيل عملية المعالجة المحلولية للمعادن المشكلة تأثير التشكيل البارد ومن ثم تسمح بمقدار اضافي من التشكيل البارد لكون درجة حرارة المعالجة المحلولية اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور. ولتجنب حدرث نمو في الحبيبات فيجب ان يحدد زمن المعالجة المحلولية.

ان الطريقة الشائعة لعملية التبريد السريع هي الاخماد بالماء سواء في حالة السبيكة المسبوكة او المشكلة وحسب شكل السبيكة. وقد تفشل بعض السبائك المسبوكة نتيجة لحدوث بعض التشققات فيها بسبب التبريد المفاجيء ولذا تبرد احيانا بالزيت او بتيارهوائي سريع ولكن قد يحدث بعض الترسيب عند معدل التبريد البطيء.

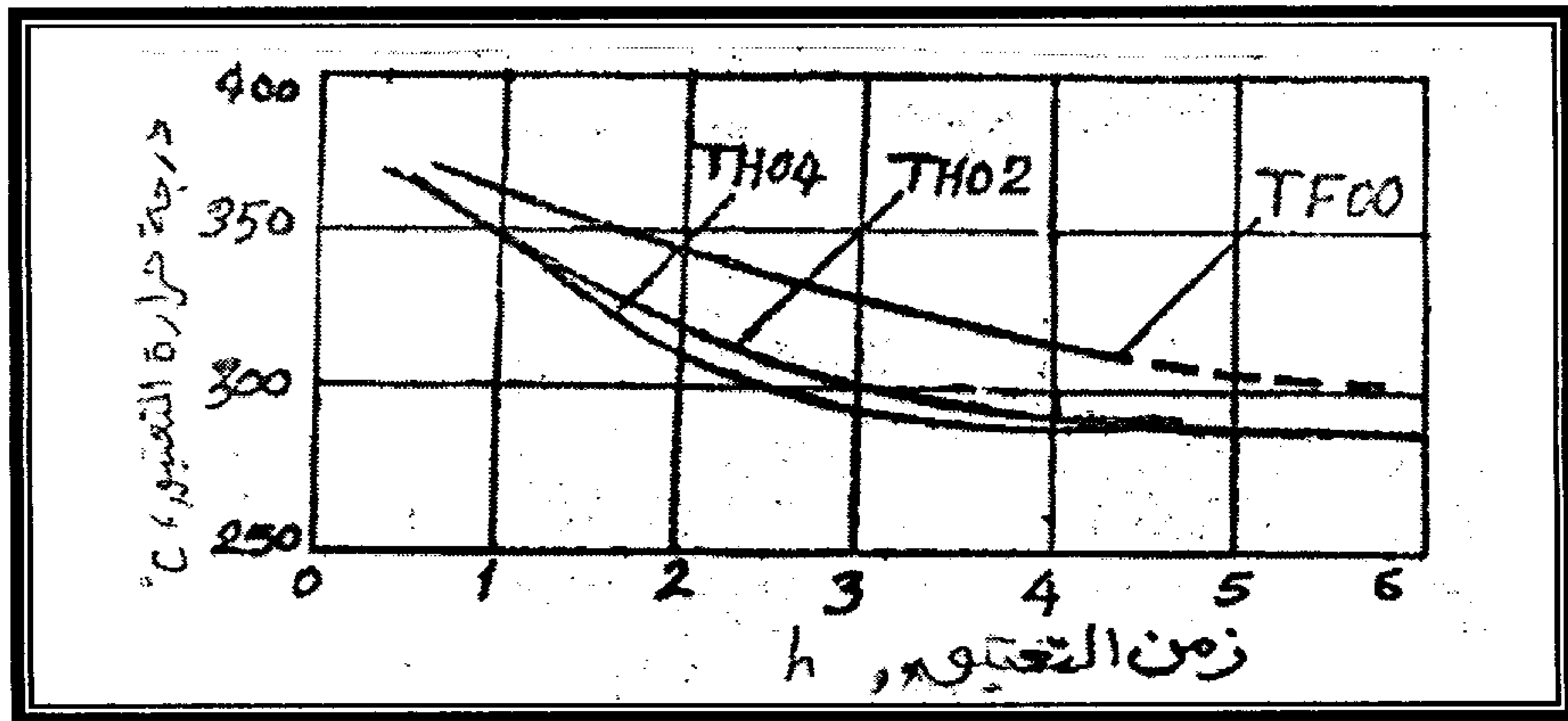
وعندما تتم معالجة سبيكة النحاس بريليوم حراريا بالجو المفتوح او المؤكسد فانها تؤدي الى حدوث حالتين من الاكسدة، فتتكون طبقة من الاوكسيد مستمرة ومتينة و تكون عالية البريليوم. اما السبائك الحاوية على نسبة قليلة من البريليوم فان التاكسد قد يدخل الى داخل الطبقات السطحية للمعدن. ان الطبقة الاوكسيدية السطحية لا تؤثر على الخواص الميكانيكية للسبيكة المصلدة بالتعتيق ولكنها تؤدي الى بلي (Wear)عُدد القطع والقوالب عند تشغيلها.اما بالنسبة للاكسدة الداخلة الى الطبقات السطحية للسبيكة فانها تضعف الخواص الميكانيكية لها، للأن الاكسدة التي تحصل داخل الطبقات السطحية للسبيكة تقلل من السمك الفعال للسبيكة. ويمكن ازالة طبقة الاكسدة بطريقة المعالجة الكيميائية (Pickling) اوطريقة التنظيف بالتجليخ لسطح السبيكة.

التعتيق (Aging)

يؤثر التشكيل على البارد للمنتجات الملدنة لسبيكة نحاس بريليوم على مقاومتها ويزداد التاثير عندما يتم تعتيقها لاحقا. تنتج اعلى مقاومة و صلادة عند تعتيق السبيكة المدرفلة على البارد بنسبة عالية (Full Hard). اما التشكيل بنسبة اقل فيكون غيرذي فائدة وذلك لان نتيجة التشكيل تكون ضعيفة وتكون السيطرة على عملية التعتيق فيما بعد للحصول على اعلى مقاومة غير دقيقة. ويبين الشكل(7-5) العلاقة بين الزمن ودرجة حرارة التعتيق للحصول على اعلى مقاومة للسبيكة

[Cu97.7Be1.9(Co+Ni)0.4]ولنسب تشكيل مختلفة. اما الجدول (7-4) فيبين بعض الخواص الميكانيكية للسبيكة المذكورة عند التعتيق بظروف مختلفة.

يمكن ان تعتق سبيكة النحاس بريليوم في اية درجة حرارية ولكن ضمن حدود مدى التعتيق. ويؤثرذلك التغيير في درجة الحرارة على الزمن اللازم للحصول على اعلى مقاومة للسبيكة. كما ان زيادة درجة الحرارة تقلل من اعلى مقاومة يمكن الحصول عليها عند الدرجة الحرارية المثلى حيث يجب ان تتم السيطرة على درجة الحرارة بسماح مقداره (±5°C) من الدرجة المفضلة والتي تقع عادة بين (315-370°C). ان الزيادة النسبية في درجة حرارة التعتيق تبطل تاثير التشكيل البارد الى حد ما ومن ثم تتطلب زمناً قليلا عند تلك الدرجة الحرارية. ان المعالجة المحلولية عند درجة حرارة واطئة قد تؤدي الى تكوين مقاس حبيي صغير ولكن عندما تكون درجة حرارة التعامل المحلولي اوطىء بكثيرمن ان تحدث ذوبانا كاملا للطور ذو محتوى البريليوم العالي، فان الاستجابة للتعتيق ستكون قليلة ومن ثم تلغى الفائدة الناتجة عن المقاس الحبيي الناعم. ولهذا السبب فان المقاس الحبيي الاصغر من0.015mm غير عملي لمنتجات سبائك النحاس بريليوم. حيث ان المعدل المعتاد من الناحية العملية للمقاس الحبيي هو(0.015-0.06mm).



الشكل(7-5)

العلاقة بين درجة الحرارة وزمن التعتيق للحصول على مقادير مختلفة من المقاومة و عند نسب تشكيل مختلفة.

جدول(7-4)

يبين بعض الخواص الميكانيكية للسبيكة [Cu97.7Be1.9(Co+Ni)0.4]عند ظروف تعتيق مختلفة.

زمن التعتيق min	الصلادة HRC	المطيلية %	مقاومة الشد MPa	الحالة الميتالورجية	درجة حرارة التعتيق °C	رمز الحالة
180	35-40	4 -10	1140-1310	تلدين كامل	315	TF00
30	34-40	3 -10	1105-1310	تلدين كامل	370	TF00
120	39-44	2-5	1275-1450	[نصف تصليد	315	TH02
15	38-44	2-5	1240-1450	(تشكيل متوسط)]	370	TH02
120	40-45	1-4	1310-1480	[تصليد كامل	315	TH04
15	39-45	1-4	1275-1480	(تشكيل عال)]	370	TH04

ب- سبيكة النحاس- نيكل- فسفور

تستخدم السبائك التي تحتوي على حوالي% 1نيكل وحوالي% 0.25 فسفور في الاجزاء الصغيرة المختلفة ذات المقاومة العالية كالنوابض والوصلات الكهربائية والملاقط وغيرها. تعالج السبيكة(Cu-Fe0.1Ni1.2Zn0.8P0.25) محلوليا عند درجة حرارة بين(700-800°C) وبجو مختزِل او متعادل (خصوصا عند تسخين مقاطع نحيفة) لمنع حصول الاكسدة الداخلية. ويستخدم الماء في عملية الاخماد(Quenching). وعند تلدين المعدن بين مراحل التشكيل البارد التي تسبق عملية التعتيق فان درجة الحرارة يجب ان تكون قريبة من620°C، وهنا تنتفي الحاجة الى الاخماد.اما عند اجراء التعتيق فان درجة الحرارة تكون بين°C 425و °C 475ولمدة ساعة الى ثلاث ساعات.

ج - سبيكة النحاس- كروم:

تعالج سبيكة النحاس الحاوية على حوالي % 1كروم محلوليا عند درجة حرارة بحدود(950 -1010°C) وتخمد عادة في منصهر ملحي او قد تجرى في افران ذات جو من غاز خامل لمنع حصول الاكسدة الداخلية والتقشر.

تكون سبيكة النحاس كروم المعالجة محلوليا لينة(Soft) وذات مطيلية عالية بحيث يمكن تشكيلها على البارد، كما في حالة معدن النحاس، وتجرى عملية التعتيق لهذه السبيكة عند درجة حرارة بحدود(400-500°C)ولعدة ساعات للحصول على الخواص الميكانيكية المطلوبة. اما لو اريد اجراء تعتيق نموذجي فيكون عند درجة حرارة455°C ولمدة اربع ساعات.

د- سبيكة نحاس زركونيوم:

تعالج سبيكة النحاس زركونيوم(Cu99.8Zr0.2)محلوليا عند درجة حرارة تتراوح بين(900-925°C) ثم تبرد (تخمد) بالماء. ويفضل تقليل وقت المعالجة المحلولية مهما امكن وذلك لمنع حصول نمو في الحبيبات ومنع حدوث الاكسدة الداخلية من خلال تفاعل الزركونيوم مع جو الفرن. ولكون انتشار الزركونيوم وتفاعله يحدث بسرعة خلال فترة المعالجة المحلولية، فان ابقاء السبيكة لفترة اكثر من اللازم عند هذه الدرجة الحرارية غير مناسب. وتجرى عملية التعتيق عند درجة حرارة تتراوح بين(500-550°C) ولمدة ساعة الى اربع ساعات. اما اذا كان المعدن قد شكل على البارد ثم عولج محلوليا فان درجة حرارة التعتيق تنخفض الى حدود(375-475°C).

يتم الحصول على اعلى مقاومة للسبيكة عندما يدخل كل الزركونيوم الموجود في السبيكة في المحلول الجامد خلال عملية المعالجة المحلولية. وفي حالة احتواء السبيكة على اكثر من 0.15% زركونيوم فيلزم تسخينها الى حوالي 975 °C حيث يبدا الطور Cu_3Zr بالانصهار، حيث ان الانصهار القليل لا يؤثرعلى الخواص الميكانيكية الا في حالة زيادة الكمية المنصهرة فان مطيلية المعدن بالتالي ستقل. وفي حالة زيادة درجة حرارة المعالجة المحلولية عن 900°C، فان درجة حرارة التعتيق ستزداد ايضا للحصول على توصيلية

عالية. ان عملية التعتيق التالية(جدول7-5)تعطي افضل خواص ميكانيكية وتوصيلية كهربائية.

جدول(7-5)

حالة المعالجة وظروف التعتيق لسبيكة النحاس زركونيوم.

درجة حرارة وزمن التعتيق	الحالة
h3 عند 500°C	معالجة محلولية عند 900°C
h3 عند 400 °C	معالجة محلولية عند 900 °C مع تشكيل على البارد
h3 عند 550°C	معالجة محلولية عند 975 °C
h3 عند 450 °C	معالجة محلولية عند 975 °C مع تشكيل على البارد

ان المقاومة العالية لسبيكة النحاس زركونيوم تعتمد على التشكيل البارد بالاضافة الى عملية التعتيق للحصول على مقاومة اضافية الا انه تحصل زيادة في التوصيلية الكهربائية بعد عملية التعتيق وذلك بسبب خروج عدد كبير من ذرات المذاب من المحلول الجامد لتكوين المركب الكيميائي، على سبيل المثال.

هـ- برونز الالمنيوم (الفا):

ان البنية وقابلية السبيكة على المعالجة الحرارية تختلف اختلافا كبيرا باختلاف مكوناتها. فسبيكة برونز الالمنيوم ذات الطور الفا والمحتوية على نحاس والمنيوم الى% 9 تقريبا يمكن ان تصلد عن طريق التشكيل البارد فقط. كما يمكن ان تصغر حبيباتها عند تلدينها بدرجة حرارة(425-760°C). لذلك فالسبائك احادية الطور المكونة من معدنين كسبيكة(Cu95 Al5)و (Cu92 Al 8) لا يمكن تصليدها بالتعتيق. ان اضافة بعض العناصر كالكوبلت (Co)و النيكل(Ni) تؤدي الى امكانية تعتيق هذه السبائك. ان زيادة صلادة بعض السبائك القابلة للتعتيق يمكن ان تتم مع التشكيل البارد الذي يسبق عملية التعتيق.

7- 2- 8 التصليد التحولي Transformation Hardening

يحدث هذا النوع من التصليد غالبا في برونزيات الالمنيوم ذات الطورين وذلك عن طريق اخماد السبيكة من درجة حرارية عالية للحصول على بنية المحلول الجامد فوق الاشباع والمعروف بالمارتنسايت (Martensite) ثم تراجع عند درجة حرارة منخفضة نسبيا للتخفيف من الاجهادات الداخلية ومن ثم ارجاع مطيلية ومتانة السبيكة الى مقدار لا باس به.

سبيكة برونز الالمنيوم ثنائية الطور(Double Phase Aluminum Bronze) تتضمن بنية هذه السبيكة على طورين ثابتين في درجة حرارة الغرفة عند نسبة المنيوم تتراوح بين(9.5-16%). وعندما تضاف بعض العناصر الاخرى، غالبا الحديد، بنسبة(1-5%) فان نسبة الالمنيوم في السبيكة ثنائية الطور تكون(8-14%). ويمكن لأي من السبائك ثنائية الطور ان تصلد بالاخماد(Quenching) ومن ثم اعادة تسخينها عند درجة حرارة واطئة نسبيا كما مر ذكره. تتحول السبيكة ذات الطورين، عند درجة حرارة الغرفة، الى بنية طور واحد(بيتا)عند رفع درجة حرارتها الى ما بين(815-1010°C) تماما كما يتحول الفولاذ الكاربوني(Plain Carbon Steel) المحتوى على الطورين(Ferrite+Fe_3C) الى المحلول الجامد الاوستنايت (Austenite) عند رفعه فوق درجة الحرارة Ac_1. ان التبريد السريع ينتج معدن هش عالي الصلادة نتيجة لتكوين الطور شبه المستقر(Metastable) والذي تشبه بنيته بنية المارتنسايت. ويستخدم لعملية الاخماد الماء او زيت المحركات المستخدم.

ان تليين المعدن عند درجة حرارة(595-650°C) ولمدة ساعتين يؤدي الى ترسب الطور الفا الابري الشكل في ارضية من المارتنسايت حيث تقل عندئذ الصلادة وتزداد المطيلية والمتانة. ويتم الاخماد، في المقاطع كبيرة الحجم، باستخدام تيار هوائي(مراوح) او رذاذ الماء، من درجة حرارة التليين(Softening Temperature) تجنبا لتحول الطور بيتا اللين الى البنية الحرجة من رقائق او عقد الفا- كاما2.

ان سبائك برونز الالمنيوم النيكلي، بالرغم من انها ذات بنية معقدة الا انها تستجيب للمعالجات الحرارية وذلك بالاخماد ثم التليين بنفس الطريقة انفة الذكر حيث يتكون طور اخر في البنية هو(كابا) ويمثل برلايت خشن في بلورات الفا اضافة الى بلورات بيتا المستقرة. ان بعض السبائك المحتوية على النيكل مثل(Cu82Al10Ni5Fe3) و(Cu81Al11Ni4Fe4)تخمد للحصول على اعلى صلادة ومن الطبيعي ان تكون معرضة اكثر لحدوث التشققات خاصة في الاجزاء الكبيرة المعقدة الشكل ويفضل في هذه الحالة الاخماد بالزيت. تعامل سبائك برونز الالمنيوم ثنائية الطور المسبوكة حراريا بالتسخين عند 815°C وتبرد بالفرن الى 550°C ثم تبرد بالهواء الى درجة حرارة الغرفة. وبهذه الطريقة يتم تجانس السبيكة في البنية والخواص اضافة الى تحسن قابليتها على التشكيل.

ان حدوث اختلاف بدرجات الحرارة بمقدار(±10°C) خلال المعالجات الحرارية لسبيكة برونز الالمنيوم لا تؤثرعلى الخواص النهائية. الا ان زيادة درجة الحرارة قد تزيد المقاس الحبيبي لها ومن ثم تقلل من مقاومتها. اما بالنسبة للسبائك احادية الطور فان درجة حرارة التلدين حرجة وهي حوالي 650°C. ولا يؤثر جو الفرن بصفة عامة على عملية التلدين وذلك لتكون طبقة من اوكسيد الالمنيوم(Al_2O_3)على سطح السبيكة تعمل كحماية له.

7- 2- 9 **التحلل المغزلي** (Spinodal Decomposition)

تمثل عملية التصليد التي تحدث في بعض سبائك النحاس،على سبيل المثال،(Cu67.2Ni30Cr2.8) حيث يتكون هذا النوع من البنية الذي يظهر منطقة اللاتمازج(Miscibility Gap)في حالة الاستقرار او عدم الاستقرار والتي تمتلك ذرات السبيكة حركة كافية عند درجة حرارة المعالجة.

تتكون البنية المغزلية عندما تكون السبيكة المعينة متجانسة عند درجة حرارة اعلى من منطقة اللاتمازج ولوقت كاف عندما تكون البنية مستقرة. وعند تبريد السبيكة بسرعة الى درجة حرارة اقل من منطقة اللاتمازج وتبقى عندها يبدأ عندئذ التحلل المغزلي بمعدل

يسيطر عليه سرعة انتشار الذرات. وقد يحدث التحلل المغزلي اثناء عملية التبريد المستمر من درجة حرارة التجانس الى درجة حرارة الغرفة عندما يكون انتشار الذرات سريعا ومعدل التبريد بطيئا.

7- 2- 10 التصليد المنتظم(Order Hardening)

تتعرض بعض السبائك الخاصة، وبصورة عامة تلك التي تكون مشبعة تقريبا بعناصر سبيكية مذابة في الطور الفا، الى هذا النوع من التفاعل(المنتظم)عندما تلدن السبيكة المشكلة على البارد بنسبة عالية. ومن السبائك التي تسلك هذا السلوك(Cu90Al8Ni2)و(Cu95Al 2.8Si1.8Co0.4) و(Cu73.5Zn22.7Al 3.4Co 0.4) و (Cu73.3Zn22.7Al 3.4 Ni 0.6) وتعزى زيادة مقاومتها الى المدى القصير(Short Range Order) لترتيب ذرات المعادن السبيكية خلال بنية النحاس والتي تعيق عملية انزلاق الانخلاعات في الشبكة البلورية.

ان الدرجة الحرارية الواطئة للتلدين الذي يؤدي الى التفاعل المنتظم يعتبر عملية ازالة للإجهادات ايضا والتي تزيد من مقاومة الخضوع عن طريق تقليل تركيز الاجهادات الداخلية في الشبكة البلورية. وكنتيجة فان التلدين المنتظم للسبيكة يؤدي الى تحسن في خواصها.

تجرى عملية التلدين المنتظم خلال وقت قصير وبدرجة حرارة واطئة نسبيا اي بحدود(150-400°C)ولكون درجة الحرارة واطئة فلا حاجة لجو فرن واق. وتتم عملية التصليد المنتظم بعد عملية التصنيع النهائية وذلك للحصول على افضل حالة من ازالة الاجهادات مصاحبة لهذه العملية خصوصا عندما تكون ازالة الاجهادات مطلوبة.

7- 2- 11التصليد المجهري المزدوج (Microduplex Hardening)

ويحدث هذا النوع من التصليد لبعض سبائك النحاس الخاصة التي تصنع لتحقيق بنية ثنائية الطوروالتي يكون فيها كلا الطورين مستقرين او شبه مستقرين عند درجة حرارة الغرفة او اعلى من ذلك بقليل. وفي البنية المجهرية المزدوجة يمكن السيطرة على السلوك الميكانيكي للسبيكة، ولذلك فان البنية ثنائية الطور تعتبرمتفوقة على الاحادية

الطور بسبب امكانية تغيير نسبة كل طور في السبيكة والتي تنعكس على خواصها الميكانيكية. تكون بنية هذه السبيكة ناعمة (صغيرة) المقاس الحبيبي (اقل منµm 10) مع تحسن ملحوظ في مقاومة السبيكة ومن دون التفريط بمطيليتها مقارنة بنفس السبيكة التي لايجرى لها التصليد المزدوج الدقيق.

الفصل الثامن

العيوب التصنيعية في المنتجات

الفصل الثامن

العيوب التصنيعية في المنتجات

تحدث من جراء تصنيع المعادن عيوب تصنيعية مختلفة، تعد التقنية المستخدمة هي السبب الاكبر في حصول مثل هذه العيوب في حين يعتبر المعدن وتكوينه الكيميائي السبب الاخر من اسباب حدوث هذه العيوب اضافة الى عوامل اخرى تكون احيانا سببا في حدوثها حيث سيتم التطرق اليها بالتتابع. ومن هذه العيوب ما هي عيوب سباكة او عيوب درفلة او بثق او سحب وحسب طبيعة المنتج والعمليات التصنيعية التي تجرى عليه.

8- 1 **عيوب السباكة** Casting Defects

من المؤكد ان الانتباه اثناء جميع مراحل السباكة ابتداء من تحضير الشحنة وحتى نهاية سكب المعدن امر ضروري لتجنب وقوع اي عيب من عيوب السباكة. علما بان نوعية المنتج المسبوك تتأثر بعدد من العوامل والتي تشمل ما ياتي:

8- 1- 1 **تصميم قالب السكب (الصب)** Mould Design

ان لتصميم قالب السكب وحالته من حيث جودة السطح وطريقة التبريد المستخدمة والتي لها علاقة وثيقة بمعدل تبريد اجزاء المسبوكة تاثير كبيرعلى نوعية بنية المعدن (Microstructure).

8- 1- 2 **الصهر** Melting

ان للعوامل المصاحبة لعملية الصهر، من حيث درجة حرارة المعدن المنصهر وزمن حفظ المعدن في الافران والعُدد والادوات المستخدمة في عملية ازالة الخبث ومدى نظافة الافران ومجرى المعدن المنصهر اضافة الى علاقة ذلك بالمكونات الكيميائية ونسب الشوائب والمكونات المضافة والمفقودة كتبخربعض العناصر على شكل اكاسيد، كما في

حالة، تبخر اوكسيد الخارصين(ZnO)خلال صهر سبائك البراص،على سبيل المثال، أثر في تواجد العيوب او عدمه.

8- 1- 3 السكب(الصب) Casting

ويشمل عملية السكب وتاثيراتها على عيوب السباكة الداخلية كما في تاثير سرعة السكب كظهور الفقاعات، وكذلك تسرب بعض المواد غير المعدنية الى داخل المعدن المسبوك كما يحصل في سقوط بعض المساكب (المصبات) (Down Stops) أو الاكواب الموجهة، اضافة الى تصميم المصبات والتي تؤثر بدورها على بنية المعدن المسبوك والعيوب الداخلية.

8- 1- 4 مكونات الشحنة (Charge Components)

تؤثر مكونات الشحنة في سبائك النحاس تاثيرا كبيرا وذلك لمحدودية نسب الشوائب المسموح بتواجدها. حيث تؤثر على تكوينها الكيميائي والجهري وخواصها الاخرى. ويلزم خلو الخردة (السكراب) من اية شوائب مضرة اضافة الى نظافتها من الدهون والزيوت التي تسبب الفقاعات الداخلية في المسبوكة. يمكن تقسيم عيوب السباكة الى نوعين هما:

أ- عيوب سطحية يمكن الكشف عنها بالعين المجردة ومنها الشقوق والحزوزوالتنقروغيرها. حيث يتحكم تاثيرها في نوعية المنتج من خلال الخواص المطلوبة ومدى تاثير هذه العيوب في العمليات الانتاجية اللاحقة، وحسب عمقها وامكانية اختفائها اثناء عملية التشكيل والتشغيل.

ب-عيوب داخلية لايمكن تحديدها بالنظر وتحدد عن طريق الفحوص اللااتلافية(Nondestructive Testings)، ومن هذه العيوب الفقاعات والمسامية وتواجد الاجزاء غير المعدنية او غير الذائبة في المحلول الجامد.

ومن عيوب السباكة المستمرة ما ياتي:

1- الحزوز السطحية الناتجة عن الحركة الاهتزازية السريعة للقالب.

2- التصاق رقائق معدنية قشرية (Swarfs) على سطح القالب يسبب عيوب سطحية على شكل قشور على سطح المعدن.

3- ثنيات وتراكيات(Laps)على سطح المسبوكة ناتج عن عدم انتظام عملية السكب بسبب قلة الخبرة للعاملين في مجال السباكة.

4- عيوب ناتجة عن عدم التوازن بين معدل التبريد الثانوي(Secondary Cooling) ومعدل سحب او اخراج المسبوكة(Metal Withdrawal Rate).

5- تشققات داخلية(Internal Cracks) وتتولد نتيجة لشدة التبريد الثانوي والذي يسبب تقلصا غير منتظم (Uneven Contraction) للمعدن ينتج عنه اجهادات داخلية(Internal Stresses) تولد هذه التشققات.

6- مسامية داخلية(Internal Porosity) سببها عدم كفاية التبريد الثانوي او ان معدل سحب المعدن يكون سريع جدا.

8- 2 التكوين الكيميائي(Chemical Composition)

يمثل التكوين الكيميائي الاساس في قبول او رفض اية مسبوكة على قاعدة ان كل سبيكة تتكون من مجموعة من العناصر الاساسية (Principal Alloying Elements) والشوائب(Impurities) علما بان عناصركلا المجموعتين محددة بنسب تمثل الحد الاعلى والادنى وكما ورد ذكره في فصل سبائك النحاس.

ويتم اجراء عملية التحليل الكيميائي لعينة من المعدن المنصهر، بعد اخذها وتهيئتها، قبل السكب وعند التاكد من مطابقتها كما هو مطلوب من التكوين الكيميائي تتم عملية السكب(الصب) وبعكسه تتم معالجة التكوين الكيميائي للمنصهرحتى الوصول الى احدى الحالتين اما القبول او الرفض ان لم تمكن المعالجة.

تتم عملية التحليل الكيميائي عادة اما بعملية الامتصاص الذري(Atomic Absorption) او بوساطة الاشعة السينية المتالقة(Fluorescent X-rays)، وتدعى هذه

الاجهـزة بـاجهزة التحليـل الطيفـي او المطـاييف(Spectrometers)، وتـستخدم اجهـزة الانبعاث الضوئي(Photo Emission) لتحليل سبائك البراص والبرونزعادة.

8- 3 عيوب الدرفلة (Rolling Defects)

نظرا لكون نسبة المساحة السطحية الى الحجم، في عمليات الدرفلة، كبيرة فان حالة السطح خلال جميع مراحل الدرفلة لها اهمية قصوى، ونتيجة لتاثير عوامل كثيرة في حدوث العيوب السطحية فانه يمكن تمييز عيوب الدرفلة الحارة عن عيوب الدرفلة الباردة نظرا لوجود بعض العوامل المختلفة كعملية تسخين المسبوكة ونوع الماكنة وغيرها.

8- 3- 1 عيوب الدرفلة الحارة (Hot Rolling Defects)

نظرا لارتفاع درجة حرارة المعدن تحت الدرفلة فانها قد تكون عاملا مؤثرا في ظهور العيوب اضافة الى العوامل التشكيلية الاخرى، ويمكن تعداد بعض عيوب الدرفلة:

1- سطح خشن(Rough or Pitted Surface) ناتج عن درفلة المعدن بتواجد قشور الاكاسيد المعدنية على السطح.

2- الشظايا(Slivers)، وهذه العيوب عبارة عن قطع معدنية تلتصق بسطح المعدن المدرفل من احدى نهايتيه وتكون ذات شكل مستطيل وغالبا ما تتحد مع القشور المغمورة(Embedded Scales).

3- فجوات طولية على شكل قصبات(Reeds) وهي عيوب ناتجة عن ثقوب صغيرة في السطح المسبوك او بالقرب منه تستطيل اثناء الدرفلة.

4- ثنيات وندب(Seams) وتمثل ثقوب كبيرة نسبيا مؤكسدة والتي لاتلتحم سطوحها اثناء الدرفلة وتاخذ شكلها الطولي اثناء العملية مما يؤدي الى تكون تشققات ضيقة ومتوازية(Fissures).

5- تراكب طبقات(Laps)ناتج عن تكون زوائد رقيقة(Flashs) اثناء درفلة المقاطع لان المعدن ينساب عرضيا اكثر مما ينبغي مكونا ما يشبه الزعانف والتي تتاكسد بسبب ارتفاع درجة الحرارة، وخلال تقدم مراحل الدرفلة يتم درفلتها على

سطح المعدن المدرفل تاركة تشققات بينها وبين بقية اجزاء المعدن وغالبا ما تحصل بسبب عدم دقة حساب وتصميم مراحل الدرفلة.

6- المشاشية الساخنه (Hot Shortness) وهذا العيب يحدث اثناء عملية الدرفلة الحارة في السبائك الحاوية في تكوينها على عنصر ذي درجة انصهار منخفضة(اقل من درجة حرارة الدرفلة) والذي يكون موجود، في الحالة السائلة، على الحدود البلورية مسببا تشقق السبيكة.

7- كبر المقاس البلوري(Coarse Grains)في المنتج النهائي بسبب ارتفاع درجة حرارة السبيكة في المرحلة الاخيرة للدرفلة(Final Pass Of Rolling) مما يؤدي الى النمو البلوري.

8- تكسر المعدن في حالة وجود فرق في درجات الحرارة بين سطح المسبوكة ومركزها(Core)قبل البدء بعملية الدرفلة خصوصا عندما يكون التخفيض في السمك في اول مرحلة درفلة كبيرا. ومن الممكن منع حدوث التشقق اثناء عملية تبريد المعدن المدرفل، خصوصا للمقاطع الكبيرة، وذلك باجراء تبريد تدريجي او بطيء.

8- 3- 2 عيوب الدرفلة الباردة(Cold Rolling Defects)

وفيما ياتي بعض العيوب التي تظهراثناء الدرفلة الباردة:

1- الخدوش المتولدة نتيجة لاستخدام مدرفلات (Rolls) او موجهات(Guides)معابة.

2- تشققات ناتجة عن زيادة نسبة التشكيل عن الحدود التي يتحملها المعدن. ويمكن الحد من ذلك باجراء عملية التشكيل وفي حدود تحمل المعدن وحسب المواصفات والخواص المطلوبة.

3- المشاشية الباردة(Cold Shortness) اي عدم امكانية الدرفلة على البارد نتيجة لوجود ترسبات هشة على الحدود البلورية.

4- الاختلاف في سمك الصفائح المدرفلة وعلى طول المنتج باتجاه الدرفلة بسبب السرعة المتغيرة او زيادة الشد على المعدن المراد درفلته، وذلك نتيجة للاختلاف الموجود في سمك المعدن الداخل الى المدرفلات وصلادته وينتج عن ذلك معدن متغير السمك اضافة الى الانعكاس السلبي على دورانية المدرفلات المستخدمة. وتستخدم، لغرض الدقة في انتظام السمك، اجهزة تعمل آليا في تحديد قيمة السمك وكذلك تصحيح السمك عن طريق الايعاز الى المنظومة لتغييرالمسافة بين المدرفلات. وقد يكون الاختلاف في السمك في الاتجاه العمودي على اتجاه الدرفلة ناتج عن مقدار الانحناء(Deflection) الحاصل في المدرفلات من جراء الحمل اذ ينتج عن ذلك شريحة ذات سمك اعلى في الوسط مما هو عليه عند طرفي المنتج. وتتم معالجة ذلك باستخدام مدرفلات ذات تحدب اكبر نسبيا او مدرفلات ساندة اضافية كما مر ذكره.

8- 4 عيوب البثق المباشر(Direct Extrusion Defects)

اضافة الى العيوب والخلل(Flaws) الناتجة في عمليات السباكة، فان المنتجات المبثوقة قد تعاني من العيوب الآتية:

8- 4- 1 التشقق السطحي(Surface Cracking)

ويحصل عندما تتم عملية البثق بسرعة عالية جدا، او عند ارتفاع درجة حرارة البثق، وفي كلتا الحالتين يعني ان التزييت غيركافٍ ويلتصق عندئذ المعدن على القالب.

8- 4- 2 الاختلاف في بنية المعدن وخواصه

بسبب النسب المختلفة في مقدارالتشكيل في المناطق المشكلة المختلفة(Deformation Zones). وحيث ان المعدن اذ يتعرض الى نسبة قليلة من التشكيل في مقدمته فانه يحافظ على بنية قريبة من بنية المسبوكة نفسها. وبما ان نسبة التشكيل عادة اكبر في المنطقة الخارجية للمقطع مما هي عليه في قلب القضيب المبثوق، فانه يحصل تشكيل بارد نسبيا قرب السطح بالرغم من ان التشكيل اثناء عملية البثق الساخن

يتم فوق درجة حرارة اعادة التبلور، وذلك لان معدل التشكيل كبير الى درجة ان معدل التبلور يكون اصغر بكثيرمن معدل التشكيل وان المعدن سوف لا يمكث الوقت الطويل عند درجة حرارة اعادة التبلوربعد العملية للسماح للجزء المشكل تشكيلا باردا نسبيا ليتبلور، وعليه فان اي منطقة متعرضة لنسبة صغيرة من التشكيل البارد نسبيا قد تولد حبيبات كبيرة عند اعادة التسخين الى درجة حرارة اعلى من درجة حرارة اعادة التبلور.

8- 4- 3عيوب النهايات (Back End Defects) وتسمى عيوب البثق (Extrusion Defects)

والتي تظهر نتيجة للانسياب الخاص بالمعدن اثناء عملية البثق المباشر. اذ تتحرك القشرة الخارجية للمعدن والاكاسيد المتجمعة عليها، اثناء عملية البثق، الى الداخل و الى الامام مما قد ينتج عن ذلك دخول الأكاسيد الى داخل المعدن المبثوق. واحيانا تتكون حلقة كاملة من طبقة الاوكسيد حول قلب المعدن المبثوق تفصله تماماعن الخارج. ويمكن الحد من عيب النهايات باتباع ما ياتي:

أ- زيادة طول الفضلة وحسب قطر وطول المسبوكة والمنتج المطلوب، اوتقليل الاحتكاك بين سطح المسبوكة والحاوية.

ب- البثق باستخدام قرص بثق ذي قطر اصغرمن قطر الحاوية اذ يتم ترك القشرة الحاوية على هذه العيوب على ان تتم ازالتها في المراحل اللاحقة. او تشغيل سطح المسبوكة بالخراطة ثم تسخينها في جو واق.

ج- اختلاف خواص المنتج المبثوق في المناطق المختلفة ابتداء من بدايته وحتى نهايته بسبب اختلاف درجات الحرارة الناتجة عن فقدان الحرارة في الحاوية و الحرارة الناتجة عن عملية التشكيل. ويظهر هذا الاختلاف في السبائك الحساسة وهو اقل وضوحا في النحاس. ومن افضل الحلول لهذا العيب هو استخدام قوالب ذات دخول مخروطي لتحقيق تشكيل اكثر انتظاما.

8- 5 عيوب عملية السحب(Drawing Defects)

يجب ان يكون المعدن الناتج من البثق نظيف السطح وخاليا من اي نوع من انواع المواد العالقة به ويكون ذلك مهم لعملية السحب لمنع تغلغل هذه المواد الى داخل المعدن اثناء عملية السحب وتجنب التصاقها على السطح ومن الممكن ملاحظة بعض من العيوب السطحية وهي:

8- 5- 1 خطوط طولية (كخدوش سطحية)

ناتجة عن استخدام قالب محزز او مخدوش(Scored Die) او عدم كفاية التزييت او بسبب مواد خشنة تنسحب الى القالب مع المعدن المجهز كدقائق الاتربة والبلورات الرملية وغيرها.

8- 5- 2 الشظايا (Slivers)

الناتجة عن سحب قطع من النحاتة(الرايش) وصيرورتها بين قالب السحب والمعدن المسحوب.

8- 5- 3 شقوق او طيات طولية (Long Fissures)

ويكون مصدرها عيوب السباكة كالفقاعات والتشققات الداخلية الناتجة عن وجود عيوب في المعدن قبل البثق او تكسرمركزي في المعدن نتيجة لسحب المعدن بنسبة تشكيل كبيرة اكبر مما يتحمله المعدن وتسمى(Cupping).

8- 5- 4 وجود اجهادات داخلية في المعدن المسحوب

والتي تكون سببا لحصول احد انواع التآكل كالتآكل الاجهادي(Stress-Corrosion) وتتم معالجة ذلك باجراء عملية ازالة للاجهادات.

8- 5- 5 عيب سطحي يبدو فيه السطح كقشرة البرتقال(Orange Peel)

سببه تشكيل كبير لمعدن ذو بلورات خشنة (Coarse Grains) وحسب انظمة الانزلاق (Slip Systems)البلورية المتوفرة، وعددها وكذلك الزيادة المفرطة لسائل التبريد.

8- 6 عيوب السحب العميق(Deep Drawing Defects)

ومن عيوب عملية السحب العميق ما ياتي:-

8-6-1 خدوش عمودية بشكل خطوط على المنتج (Vertical Scores) سببها اما خشونة سطح المعدن او القالب او دخول بعض الدقائق المعدنية الخارجية او الاتربة اونتيجة لعدم ملائمة سائل التبريد.

8-6-2 ثنيات وتجعدات على حافة المنتج (Wrinkles) بسبب عدم كفاية الضغط على المعدن من قبل الماسكات او عدم تساوي سمك المعدن.

8-6-3 بريق ولمعان على سطح المعدن(Burnished Area) وتكون نتيجة صغر الخلوص (Clearance) بين القالب والسنبك (الدافع).

8-6-4 عدم انتظام ارتفاع جدار الظرف و سمك الجدار بسبب عدم انتظام مركزية السنبك مع القالب.

8-6-5 ظاهرة الاقراط (Earrings) وهي اختلاف ارتفاع محيط نهاية الفنجان او الانبوب بين نقطة واخرى نتيجة لعدم تجانس خواص القرص، قبل السحب، بسبب وجود الاتجاه البلوري التفضيلي(Preferred Orientation) او النسيجية (Texture) والذي يؤدي الى تباين(Anisotropy) في الخواص الميكانيكية بالاتجاهات المختلفة.

8-6-6 خشونة السطح وتكون قشر البرتقال(Orange Peel) بسبب كبرالمقاس الحبيبي نسبيا وكلما كان المقاس الحبيبي (البلوري) اكبر كانت الخشونة اكبر.

الفصل التاسع

تشغيل النحاس وسبائكه

Machining of Copper and Its Alloys

الفصل التاسع

تشغيل النحاس وسبائكه

Machining of Copper and Its Alloys

مقدمة:

ان من اهم خواص النحاس وسبائكه هي قابلية التشغيل (Machinability) والتي تحددها العوامل الاتية:

1. مقاس النحاتة(الرايش) (Chip Size)
2. الانهاء السطحي (Surface Finish)
3. الطاقة اللازمة للتشغيل (Power Required)

وبالاعتماد على قابلية النحاس وسبائكه على التشغيل واختلافها من سبيكة الى اخرى يمكن تقسيمها الى ثلاث مجاميع وهي:

1- **المجموعة الاولى**: ذات قابلية ممتازة على التشغيل (Free Cutting)
2- **المجموعة الثانية**: ذات قابلية جيدة على التشغيل(Readily Machinable)
3- **المجموعة الثالثة**: ذات قابلية ضعيفة على التشغيل(Difficult to Machine)

كما سيأتي تفصيل هذا التصنيف في الجداول(9-1) و(9-2) و(9-3). حيث اعتمدت ظروف التشغيل من معدل تغذية(Feeding Rate) وسرعة قطع(Cutting Speed) وعمق القطع(Cutting Depth) وزوايا العدة(Tool Angle)، باعتبار ان عُدد(سكاكين) القطع المستخدمة مصنوعة من الصلب الكاربوني وصلب(فولاذ) السرعات العالية(High Speed Steel) وعدد كاربيدية(Carbide Inserts).

9- 1 تاثيرالتكوين الكيميائي على التشغيل

Effect of chemical composition on machinability

تعتبر سبائك النحاس - خارصين(البراص) من السبائك السهلة التشغيل والمتعددة التطبيقات وهي كذلك فعلا. ولكن لا توجد سبيكة تفي بكل المتطلبات في آن واحد وبناء على ذلك فقد تمكن خبراء ومهندسي المعادن من تطوير سلسلة من سبائك النحاس والتي تشمل انواع البراص والبرونزوالتي تسهِّل مهمة مهندس التصميم بمجال اوسع من التطبيقات. وباضافة عنصر او اكثر وبنسب محددة يمكن تحسين خواص السبيكة كزيادة المقاومة (Strength) او تحسين مقاومة البلي (Wear Resistance) او التاكسد (Oxidation) او التاكل (Corrosion) وقابلية اللحام او التشغيل وغيرها من الخواص الاخرى. وبناء على ذلك نجد اختلافا في قابلية التشغيل من سبيكة الى اخرى وحسب التصنيف آنف الذكر. وسيتم تناول عمليات التشغيل المعروفة كالخراطة (Turning)والتفريز(Milling) والتثقيب (Drilling) والقطع (Cutting) وتوسيع الثقوب (Reaming) وعمليات القطع بالعُدد(السكاكين)المشكلة.

ان سبائك البراص- رصاص ذات قابلية عالية على التشغيل اذ ان اضافة الرصاص بحدود (3wt%) الى سبيكة البراص (60-40) يجعل السبيكة ذات قابلية عالية جدا على التشغيل. حيث تعتبر السبيكة براص- رصاص3 ذات قابلية قياسية على التشغيل تقدرب(100%).

تمتاز هذه السبيكة بانه يمكن تشغيلها بسرعة قطع عالية مع نسبة بلي(Wear) قليلة لعدد(سكاكين)القطع ومقاسات صغيرة من النحاتة(Chip) وهناك سبيكة اخرى ذات قابلية اعلى على التشغيل تبلغ% 150 وهي سبيكة براص-رصاص4. ويمكن تقسيم السبائك النحاسية الى ثلاث مجاميع هي كما اسلفنا:

9- 1- 1 المجموعة الاولى: السبائك ذات القابلية الممتازة على التشغيل.

وتتراوح قابلية التشغيل لهذه المجموعة بين%150-70. وتشمل سبائك النحاس مع اضافات من الرصاص والكبريت والتليريوم والسيلينيوم وانواع البراص والبرونز الحاوية على نسب من الرصاص (والتي تُنتج بسباكة خاصة) او القصدير(Tin) والنيكل والسليكون والمغنيسيوم وعناصر اخرى. وباختلاف نسب هذه العناصر تختلف قابلية السبيكة على التشغيل.

فاضافة الرصاص الى السبيكة بنسبة تتراوح بين % 4.5-1 ترفع قابلية السبيكة على التشغيل لكون الرصاص غير قابل للذوبان لتكوين محلول جامد(Solid Solution) حيث انه يتكتل على شكل مجاميع في انحاء البنية الداخلية للسبيكة وخاصة على الحدود الباورية منها، حيث يساعد على تكسر النحاتة (Chip Breaking) او الرايش اثناء عملية التشغيل أيا كان نوعها اضافة الى انه يعطي انهاء افضل (نعومة اكثر) للسطح بعد التشغيل، كما يؤدي الرصاص دورا مهما اخر وهو التزييت الذاتي(Self Lubrication) اثناء عملية التشغيل.والجدول (9-1) يبين سبائك النحاس من هذه المجموعة.

9- 1- 2 المجموعة الثانية: السبائك ذات القابلية الجيدة على التشغيل.

يمثل البراص سبيكة من النحاس والخارصين، وكلما زادت نسبة الخارصين في السبيكة كلما صارت قابلية تشغيلها افضل وذلك بسبب التغيرات التي تحدث في البنية الجهرية(Microstructure) وخصوصا عندما تزيد نسبة الخارصين عن(37wt%) وكما هو مبين في الجدول(9-2). ومن سبائك هذه المجموعة سبائك البراص- رصاص التي لاتزيد نسبة الرصاص فيها عن(1%). فعندما تتطلب ظروف عمل الجزء المصنّع (المنتج) من سبائك هذه المجموعة حدا معينا من المطيلية(Ductility) لتجنب الكسرتصبح نسبة الرصاص محددة بذلك (اي باختياراوسط الحلول من حيث الاداء وسهولة التشغيل).

جدول(9-1)

المجموعة الاولى: سبائك النحاس ذات التشغيلية الممتازة (Free Cutting).

السبيكة	رمز السبيكة	التحليل (التكوين) الكيميائي وزنا بالمئة (%wt)								
		Cu	Ni	Zn	Pb	Sn	Mn	Fe	P	عناصر اخرى
براس رصاص4	CuZn3Pb4	56.5-58.5		المتبقي	3.5-4.5					
نحاس تليريوم	CuTe	المتبقي								Te(0.3-0.7)
نحاس كبريت	CuS	المتبقي								S(0.3-0.6)
براس عالي المتانة (براس لحام المونة)	CuZn39AlFe Mn	56-59		المتبقي	0.5-1.5	0.6-1.1	0.3 -2	0.5-1.2		
براس رصاص1	CuZn39Pb1	63-66		المتبقي	0.75-1.5					
براس رصاص2	CuZn39Pb2	61-64		المتبقي	1-2.5					
براس رصاص2	CuZn39Pb2	58-60		المتبقي	1.5-2.5					
براس رصاص3	CuZn39Pb3	56.5-58.5		المتبقي	2.5-3.5					
براس رصاص2	CuZn41Pb2	56.5-58.5		المتبقي	1.5-2.5					
براس رصاص3	CuZn36Pb3	60-63		المتبقي	2.5-3.7					
براس رصاص2	CuZn38Pb2	58.5-61		المتبقي	1.5-2.5					
براس رصاص1	CuZn39Pb1	58.5-61		المتبقي	0.8-1.5					
براس رصاص3	CuZn40Pb3	55.5-57.5		المتبقي	2.5-3.5					0.5Al
برونز رصاص	76Cu9Sn15Pb	المتبقي	2 ≥	1≥	13-17	8 -10				0.5 Sb
برونز رصاص	80Cu10Sn10Pb	المتبقي	2 ≥	1≥	8.5-11	9-11			0.1≥	0.5 Sb
برونز رصاص	85Cu5Sn10Pb	المتبقي	2 ≥	2≥	8-10	4-6			0.1≥	0.5 Sb

0.5 Sb				4-6	18-23	1≥ .	2≥	المتبقي	75Cu5Sn20Pb	برونز رصاص
				2- 3.5	4-6	7-9.5	2≥	المتبقي	83Cu5Sn9Zn5Pb	برونز رصاص (معدن المدفع)
				4-6	4-6	4-6	2 ≥	المتبقي	85Cu5Sn5Zn5Pb	برونز رصاص (معدن المدفع)
	0.3≥		0.3	6.5-8.5	2-5	2	1≥	المتبقي	87Cu7Sn2Zn4Pb	برونز رصاص (فسفوري)
				6-8	2.5-3.5	1.5- 3.5	2 ≥	المتبقي	87Cu7Sn3Zn3Pb	برونز رصاص (معدن المدفع)
			0.2-0.5		1-2.5	المتبقي	9-11	44-47	CuNi10Zn45	براس رصاص نيكل10
			1.5-3		1-2.25	المتبقي	13-15	39-42	CuNi14Zn42	براس رصاص نيكل14
			0.1-0.5		1-2	المتبقي	9-11	58-63	CuNi10Zn29	براس رصاص نيكل10
			0.5- 1		0.5-1	المتبقي	14-16	60-63	CuNi15Zn23	براس رصاص نيكل15
			0.5- 1		0.4-0.8	المتبقي	17-19	60-63	CuNi18Zn19 Pb	براس رصاص نيكل18
Al ≤ 0.5		0.3≥		0.5≥	0.5-2.5	المتبقي		57-60		براس (للسباكة بالقوالب)
		0.75≥		1-3	2-5	المتبقي	1≥	70-80		براس (للسباكة الرملية)
		0.75≥		1.5≥	1-3	المتبقي	1≥	63-70		براس (للسباكة الرملية)
Al(0.2-0.8)		0.8≥	0.5	1≥	0.5-2.5	المتبقي	1≥	58-63		براس (للسباكة بالقوالب)

جدول(9-2)

المجموعة الثانية : سبائك النحاس ذات القابلية الجيدة على التشغيل (Readily Machinable Alloys)

السبيكة	رمز السبيكة	التحليل(التكوين)الكيميائي وزنا بالمئة (wt%)								
		Si	Cu	Ni	Zn	Pb	Sn	Mn	Fe	P
النحاس - سليكون	Cu97Si3	2.8-3.8	المتبقي					0.75-1.25	2.75-3.25	
براص رصاص	CuZn20 Pb 0.5		79-81		المتبقي	0.1-1				
براص 63	CuZn37		62-65		المتبقي					
براص 60	CuZn40		59-62		المتبقي					
براص 63 قصديرا (naval brass)	CuZn38Sn1		61-63.5		المتبقي		1-1.4			
براص 59 قصديرا (naval brass)	CuZn40Sn1		57.5-60.5		المتبقي		0.6-1.25			
براص عالي المقاومة (منغنيز الالمنيوم)	CuZn39AlFe Mn		56-59		المتبقي	0.5-1.5	0.2-1	0.3-2	0.5-1.2	

4-5		0.25		0.02			
0.5-1.2					0.5-2.5	3-6	
0.3-2					3≥	4د	
			9.5-10.5	6.5-7.5	1≥	0.2	
	0.3-0.8	0.25	1.5≥	0.1-0.5	0.5≥	0.2≥	1-1.5
المتبقي	المتبقي	المتبقي	1.75-2.75	1.5-3	المتبقي	المتبقي	المتبقي
			1≥	5.25-575.	1≥	1≥	
64-68	59-62	59-63	المتبقي	المتبقي	55≤	55≤	60-63
CuZn29AlFe Mn	CuZn40 Pb 0.5		Cu10SnZn288	.5Cu7Sn5586 Ni1Zn			
براص عالي المقاومة	براص 60 (قليل الرصاص)	براص (للسباكة بالقوالب)	برونز (معدن المدفع)	برونزالنيكل (معدن المدفع بالنيكل)	براص عالي المقاومة	بيتا براص عالي المقاومة	براص (للسباكة الرملية)

جدول(9-3)

المجموعة الثالثة: سبائك النحاس ذات القابلية الضعيفة على التشغيل(صعبة التشغيل).

السبيكة	رمز السبيكة	التحليل(التكوين)الكيميائي وزنا بالمئة (wt%)								
	ISO	Cu	Ni	Zn	P	Zr	Mn	Fe	Al	اخرى
برونز المنيومي		المتبقي	1≥	0.5≥			1≥	1.5-3.5	8.5-10.5	
برونز المنيومي		المتبقي	4-5.5	0.5≥			1.5≥	4-5.5	8.8-10	
نحاس	Cu-ETP	99.9≤								
نحاس	Cu-FRHC	99.9≤								
نحاس	Cu-OF	99.95≤								
نحاس	Cu-FRTP	99.85≤								
نحاس	Cu-DHP	99.85≤			0.013-0.05					
نحاس	Cu-DPA	99.2≤			0.013-0.05					Ag 0.3-0.5
نحاس- كادميوم		المتبقي								Cd 0.5-1.5
برونز المنيومي7	CuAl7	المتبقي	Ni+Fe+Mn 1-2.5						6-7.5	
برونز المنيومي5	CuAl5	المتبقي							4.5-5.5	
برونز المنيومي9	CuAl9	المتبقي						4-6	8.8-10	
برونز المنيومي10	CuAl10Fe5 Ni5	المتبقي	4-6					4-6	8.5-11	
نحاس بريليوم		المتبقي								Be 2-3.5
نحاس كروم		المتبقي								Cr 0.6-1.2
نحاس كروم		المتبقي								Cr 0.3-1.2
نحاس كروم زركونيوم		المتبقي				0.02-0.27				Cr 0.5-1.2
نحاس مغنيسيوم		المتبقي		0.5≥			11-15	2-4	7.5-8.5	1≥Sn

المنيوم										
نحاس نيكل5	CuNi5Fe1Mn	المتبقي	5-6				0.3-0.8	1.05-1.35		
نحاس نيكل10	CuNi10Fe1 Mn	المتبقي	10-11				0.5-1	1-2		
نحاس نيكل15	CuNi15	84-86	14-16				0.05-0.5			
نحاس نيكل20	CuNi20	79-81	19-21				0.05-0.5			
نحاس نيكل25	CuNi25	74-76	24-26				0.05-0.4			
نحاس نيكل30	CuNi30	69-71	29-31				0.05-0.5			
نحاس نيكل30	CuNi30FeMn	المتبقي	30-32				0.05-1.5	0.4-1		
نحاس نيكل30 حديد	CuNi30Fe2 Mn2	المتبقي	29-32				1.5-2.5	1.7-2.3		
براس95	CuZn5	95-98		المتبقي						
براس90	CuZn10	89-91		المتبقي						
براس85	CuZn15	84-86		المتبقي						
براس80	CuZn20	79-81		المتبقي						
براس70	CuZn30	70-73		المتبقي						
براس 67 (HBR2)	CuZn33	64-67		المتبقي						
السبيكة	رمزها	Cu	Ni	Zn	Sn	Mn	Fe	P	Al	Pb
براس المنيومي	CuZn21Al2	76-78		المتبقي				1.8-2.3		
براس نيكل المنيوم سليكون		81-86	0.08-1.4	المتبقي	0.1≥		0.25≥	0.7-1.2	0.8-1.3	0.05
براس- نيكل10		60-65	9-11	المتبقي		0.05-0.3				
براس- نيكل12		60-65	11-13	المتبقي		0.05-0.3				
براس- نيكل15		60-65	14-16	المتبقي		0.05-0.3				
براس- نيكل18	CuNi18Zn20	60-65	17-19	المتبقي		0.05-0.3				

براس- نيكل18	CuNi18Zn27	54-56	-1917	المتبقي		0.05-0.35				
براس- نيكل20		60-65	19-21	المتبقي		0.05-0.35				
براس- نيكل25		55-60	24-26	المتبقي		0.5-0.75				
برونزفسفوري		المتبقي			10≤			0.5≤		
برونزفسفوري	CuSn12	المتبقي	0.5≥	0.3≥	11-13			0.5≤		0.5≥
برونزفسفوري		المتبقي	0.5≥	0.5≥	9.5≤			0.5≤		0.75 ≥
برونزفسفوري3	CuSn3	المتبقي			3-4.5			0.02-0.4		
برونزفسفوري5	CuSn5	المتبقي			4.5-6			0.02-0.4		-
برونزفسفوري7	CuSn7	المتبقي			3.5-6			0.02-0.4		
برونزفسفوري9	CuSn9	المتبقي			7.5-9			0.02-0.4		

9- 1- 3 المجموعة الثالثة:- السبائك صعبة التشغيل

تمتازالسبائك المصنفة ضمن هذه المجموعة، والموجودة في الجدول(9-3)، بان قابليتها على التشغيل قليلة اي اقل من تلك المصنفة ضمن المجموعة الثانية. وهذه المجموعة تشمل النحاس النقي وسبائك نحاسية يتطلب استخدامها ظروف خاصة كمقاومة التاكل او مقاومة ميكانيكية (Strength) محددة او لون معين والتي تصمم عادة لاغراض خاصة اهم من قابلية السبيكة على التشغيل او قد لا تتطلب تشغيلا بعد التصنيع. ومنها سبائك النحاس- خارصين (براص 90 وبراص 85 وبراص 80 ...) والتي تمتاز بلونها البراق، لذلك فهي تستخدم في الاعمال الفنية والديكور واعمال الصيانة.

يمتاز النحاس الحاوي على الزركونيوم او البريليوم بانه ذو مقاومة(Strength)عالية وتوصيلية كهربائية عالية (High Electric Conductivity) والتي يتم تحديدها للسبيكة من خلال المعالجة المحلولية ثم التصليد بالترسيب (Precipitation Hardening)ومن سبائك هذه المجموعة ايضا سبيكة النحاس- كادميوم والبرونزالفسفوري.

9- 2 عمليات التشغيل (Machining Processes)

من المعلوم في عمليات تشغيل المعادن بان المتغيرات التي تشمل السرعة والتغذية وعمق القطع يمكن التلاعب بها على حساب بعضها البعض لتحقيق عدد غيرمحدد من الظروف اللازمة لازالة كمية معينة من المعدن في زمن محدد. ومن خلال التعامل مع النحاس وسبائكه فان ظروف تشغيلها المفضلة عمليا هي استخدام اكبر سرعة قطع مع اقل تغذية ممكنتين عدا عمليات التشغيل للاجزاء المصنعة بالسباكة الرملية، حيث يتم تشغيلها باستخدام عُدد (سكاكين)قطع من الفولاذ الكاربوني (Carbon Steel) وصُلب السرعات العالية (High Speed Steel) ففي هاتين الحالتين يفضل استخدام سرعة قطع قليلة مع تغذية معتدلة لحين ازالة الطبقة الاولى من المعدن المسكوب (المصبوب)ثم تتم زيادة السرعة والتغذية.

وعند استخدام عُدد كاربيدية (Carbide tools) فليس هناك ضرورة لتقليل السرعة عند الابتداء بل يمكن معاملة المسبوكة بالسباكة الرملية معاملة خاصة.

و سيتم هنا توضيح عمليات التشغيل المتنوعة كدليل لورش الصيانة والتصليح التي تتعامل مع هذه السبائك بشكل غير دائم (مستمر) او للمشتغلين اللذين ليست لهم خبره عملية مع هذا النوع من السبائك وذلك من خلال تثبيت الظروف والعوامل اللازمة لعمليات التشغيل (كسرعة القطع والتغذية وزوايا الجرف والقطع والخلوص الخاصة بالعُدد(السكاكين)).والتي يمكن اعتمادها في البداية بصورة تقريبية ثم يتم ضبط القيم المثلى لها من خلال تكرارالعملية لتلائم البنى المختلفة للسبيكة وحالتها الميتالورجية ونوعية سائل القطع و الاستخدام الافضل.

وكلما قلت مطيلية المعدن فان زاوية الجرف(Rake) اللازمة تكون اصغراو معدومة.فعند تشغيل سبائك المجموعة الاولى تفضل زوايا جرف معتدلة والتي تحد من الضوضاء(الاضطراب)واتلاف المعدن في حين تستخدم زوايا جرف اكبرعند تشغيل سبائك المجموعتين الثانية والثالثة لتحقيق نحاتة(رايش) متكسر.ان زاوية الجرف الجانبي

ضرورية اثناء تشغيل سبائك المجموعة الثانية والثالثة. وفيما ياتي شرح لكل عملية من عمليات التشغيل:-

9- 2- 1 الخراطة (Turning)

عند اجراء عملية القطع الخشن وباستخدام عُدة(سكين) قطع من الفولاذ الكاربوني او فولاذ السرعات العالية (High Speed Steel) يلزم ان تكون زاوية العُدة(السكين) خمسة درجات ونصف قطر قدره(0.8mm) وقد يحصل اهتزاز(Chattering)عند استخدام قيمة اكبر لنصف القطر او قيمة اقل لزاوية حافة العدة وفي حالة الاقطار الصغيرة واثناء مرحلة التشغيل الانهائي(Finishing) للاجزاء من سبائك المجموعة الاولى وعند اعلى سرعة ممكنة للعملية يتم الاعداد لضبط التغذية وجعلها ملائمة لعمق القطع ولطاقة الماكنة ونوع سائل القطع (التبريد) ومستلزمات نعومة السطح والجدول(9-4)يبين قيم السرعة والتغذية الملائمة وظروف كل مجموعة من المجاميع الثلاثة من السبائك النحاسية. وعندما تكون السرعة العالية الواردة في الجدول اعلاه ملائمة من الناحية العملية كما في الاجزاء(القطع المراد تشغيلها)الكبيرة او في مكائن توسيع الثقوب(Boring M/C) فيمكن اعتماد قيم اصغر كما ويلاحظ ان كفاءة القطع افضل عند استخدام عدة قطع كاربيدية وعمق قطع اكبر مع سرعة قطع عالية وتغذية قليلة يرافقها عمر اطول للعدة.

9- 2- 2 القطع (Cutting)

يمكن قطع النحاس وسبائكه باستخدام منشار قطع مستقيم مصنوع من فولاذ السرعات العالية. حيث ان الخلوص الجانبي له كافٍ وقد تلزمه عملية تجليخ عند الحاجة الى ذلك. وتستخدم المناشير القرصية المصنوعة من الفولاذ الكاربوني او فولاذ السرعات العالية والجدول (9-4) يبين زوايا عُدد القطع.

9-2-3 التشغيل بعدد الشكل(Machining by Form Tools):-

وتتمثل في عمليات الخراطة المستخدمة في الانتاج الكمي(Mass Production) تؤثر على سرعة القطع والتغذية العوامل التالية:-

1- نسبة عرض عدة(سكين) القطع الى قطر الجزء المقطوع.
2- طول الجزء المراد قطعه ومقدار التعليق (Over Hanging).
3- شكل العدة (السكين).

فعند تشغيل النحاس وسبائكه باستخدام عدة (سكين) قطع مصنوعة من فولاذ السرعات العالية يستحسن ضبط او تعديل سرعة القطع عند تغيير السبيكة والاحتفاظ بتغذية خفيفة بحوالي0.025-0.075mm/rev أثناء التشغيل الاولي و0.0125-0.05mm/rev لعمليات التشغيل النهائي. ويعتمد مقدار زاوية الخلوص على قطر العدة حيث تتراوح قيمتها بين(7- 12°).

9- 2- 4 التثقيب (Drilling):

يمكن استخدام نوعيّ عُدد التثقيب، المبينين في الشكل(4)الموضح في الجدول(9-4)، لتثقيب الاجزاء المصنعة من سبائك المجموعة الاولى والثانية. وعند تجليخها يمكن استخدامها للسبائك في المجموعة الثالثة حيث ان تسطيح حافة القطع للعدة بالتجليخ سيمنع انسحاب المثقب الى داخل معدن الجزء. وتستخدم اثناء عمليات الخراطة الآلية لتشغيل الثقوب في الاجزاء المصنوعة من سبائك المجموعة الاولى والثانية مثاقب مسطحة(Straight Flute Drills) ذات خلوص زاوي مقداره صفر درجة.

ويمكن اجراء عملية التثقيب لجميع السبائك بدون استخدام سائل قطع ولكن يمكن التوصل الى نتائج افضل، فيما يخص نوع السطح وعمر العدة، عند استخدامه.

وتمتاز المثاقب المستخدمة لتثقيب سبائك البراص بكون زاوية الحلزنة(Helix angle) تتراوح بين 22°- 10وذات حافة رقيقة ومنعّمة والتي تساعد على تحقيق خلوص كبير وزاوية جرف صغيرة.

يتم تصنيع سبائك المجموعة الاولى على شكل قضبان ثم يتم تشغيلها آليا باستخدام مكائن ذاتية متخصصة (Automatic Screw H/C) وبذلك فان عملية التزييت ستتم بصورة طبيعية ويصبح التزييت مرغوبا عند تثقيب سبائك المجموعة الثانية وخصوصا عندما يكون الثقب عميقا والدقة المطلوبة عالية. وعند ثقب سبائك المجموعة الثالثة والنحاس فانه يجب ان يستخدم الزيت باستمرار.

جدول(9-4)

زوايا العُدد الخاصة بعمليات التشغيل المختلفة.

عمليات التشغيل	رسم زوايا العدة	الزوايا	المجموعة الاولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة
الخراطة Turning قلم (سكين) من فولاذ السرع العاليه		القطع α	5-19°	5-19°	5-19°
		القطع الجانبي β	10-15°	10-15°	15°
		الجرف Θ	0-3°	5-10°	20-30°
		الجرف الخلفي γ	0	5-10°	10-20°
		الخلوص الجانبي Φ	0-5°	5-10°	10-20°
		الخلوص النهائي δ	6°	6-15°	10-15°
قلم (سكين) كاربيدي		القطع النهائي α	8-15°	8-15°	8-15°
		القطع الجانبي β	10-15°	10-15°	10-15°
		الجرف Θ	2-6°	4-6°	15-25°
		الجرف الخلفي γ	0	0-5°	4-8°
		الخلوص الجانبي Φ	4-6°	4-8°	7-10°
		الخلوص النهائي δ	4-6°	4-8°	7-10°

التفريز Milling	0.03-0.015	الجرف α	0-10°	0-10°	0-15°
		الخلوص β	10-15°	6-12°	
		الخلوص الجانبي	12°	12°	12'
التقطيع Cut off	1/8 to 1/16	α	15°	15°	23°
		β	15°	15°	25°
		γ	5-10°	5-10°	5-10°
التثقيب Drilling		الخلوص α	12-15°	12-15°	12-15°
		β	59°	59°	50-55°
تشغيل المسننات Tapping		α			15-20°
		β			10-15°
		γ	2-4°	5-8°	8-15°
توسيع الثقوب Reaming	0.005-0.015	γ	35-45°	35-45°	35-45°
		α		3-6°	3-6°
		β	6-8°	6-8°	6-8°

9- 2- 5 **تشغيل المسننات**(Tapping):

يمكن اجراء هذه العملية يدويا وعلى مراحل عندما يكون الجزء المراد تشغيله من سبائك المجموعة الاولى اوالثانية حيث يجب ان يكون الجرف دقيق والحافات قصيرة لمنع تكون الاجهادات بسبب قطع العُدة لعِدة اسنان في ان واحد. اما سبائك المجموعة الثالثة وبصورة رئيسة النحاس والنحاس- نيكل فانها تولد عند تشغيلها نحاتة (رايش) مستمر وطويل وغيرمتكسر حيث يندفع امام العُدة لذلك تستخدم لها عُدة خاصة(Spiral pointed taps 2or3flutes)وهذا النوع يمكن استخدامه يدويا او بالمكائن للثقوب المفتوحة(النافذة) وغير النافذة وذات الخلوص الكافي بشرط امكانية ازالة النحاتة. وعندما تكون العُدة(السكين)من الفولاذ الكاربوني فيجب تخفيض السرعة بنسبة% 50 عما هي عليه لوكانت من فولاذ السرع العالية.

9- 2- 6 **توسيع الثقوب** (Reaming):-

يمكن استخدام جميع انواع الموسعات (Reamers) اليدوية او باستخدام المكائن عند توسيع الثقوب ذات الدقة العالية. ويستخدم المستقيم والمنعم بشكل شائع، ولكن تظهر فيها احيانا مشكلة الطقطقة(فرقعة)والتي يمكن تجاوزها باستخدام عدة من النوع ذي الزاوية الحلزونية(Helical angle) تتراوح قيمتها بين($7-12^{o}$)كما ان النوعين الايمن والايسر يُأمنان تحقيق سطح ناعم ودقة جيدة في سبائك الجاميع الثلاث وحسب طول الثقب وسمك الجزء لذلك يمكن استخدام العدة المصنعة من فولاذ السرع العالية (High Speed Steel)عند اعتماد القيم المدرجة في الجدول(9-4).

9- 2- 7 **التفريز** Milling:-

يمكن اجراء عملية التفريز لجميع انواع هذه السبائك المدرجة في الجاميع الثلاث باستخدام عدد التفريز الخاصة. حيث يشترط ان يكون الخلوص بين المعدن و العدة كاف لمنع التصاق المعدن، حيث ان الاهتزاز يعتبر مؤشرا على كون الخلوص او الجرف كبير وقد يكون بسبب السرعة العالية. ويمكن تجاوز ظاهرة التنقر(Digging in) باستخدام عدة التفريز ذات الاسنان المائلة بزاوية مقدارها $20-30^{o}$ والعُدد الحلزونية بزاوية تصل

الى 53^o وذات فعل قطع جيد اضافة الى تحقيقها سطوح ناعمة في جميع السبائك انفة الذكرعند استخدام زاويتي خلوص وجرف معتدلتين. تستخدم الاسنان ثنائية الزاوية(في خلفية السن) في عمليات التجليخ حيث تعطي للحد القاطع خلوصا ومتانة معتدلتين. اذ ان الخلوص للعدد (السكاكين)الصغيرة يجب ان يكون اكبر مما هو عليه في السكاكين (العُدد)الاكبر. وتعطى اعظم زاوية خلوص للسكاكين (العدد) التي يتراوح قطرها بين 75 -100mm علما بان السرعة المثبتة في الجدول مبنية على اساس ان العدد المستخدمة مصنوعة من فولاذ السرع العالية وباستخدام سائل قطع خاص (ويجب تخفيض السرعة بنسبة 50% عند استخدام سكين (عُدة) من الفولاذ الكاربوني). وفي العديد من الامثلة من الممكن زيادة السرعة بنسبة تصل الى اكثر من100% بالاستناد الى المتغيرات كعمق القطع وعرض العدة (السكين) ومتانة الماكنة وحالة السطح اللازمة (النعومة) ومعدل التغذية والتي تختلف من 0.15 الى 6.0 متر بالدقيقة اواكثر.

يبين الجدول (9-5) قيم السرعة والتغذية لكلٍ من عمليات التشغيل انفة الذكروهو يمثل مديات من القيم والتي يمكن تثبيتها من خلال التجربة عند استخدام عدد من فولاذ السرع العالية، في حين تستخدم نصف هذه القيم عندما تكون العدة من الفولاذ الكاربوني.

9- 3 سوائل القطع الملائمة للسبائك النحاسية

(Cutting fluids for Cu-alloys)

اهمية سوائل القطع:

يعتمد اختيار سائل القطع على قابلية المعدن او السبيكة على التشغيل اضافة الى نوع عملية التشغيل. فمن الشائع القبول بان وظيفة سائل القطع هي تبريد وتزييت عُدة (سكين) القطع والواقع ان وظيفته ليست هذه فقط وانما تتلخص اهميته بما ياتي:-

1- يساعد على زيادة عمر العدة مع امكانية ازالة المعدن بمعدل اعلى.

2- يساعد في الحصول على نعومة افضل لسطح المعدن المشغل.

3- يقلل من القوة اللازمة للقطع.

4- تبريد الجزء تحت التشغيل(Work piece) والنحاتة (Chips) وبالتالي المحافظة على امكانية تحقيق القياسات المطلوبة.

5- ازالة النحاتة (الرايش) من منطقة القطع.

6- اضافة الى امور اخرى مثل كون السائل يقلل من بلي (Wear) الجزء تحت التشغيل اوعدد الماكنة.

ومن الجدير بالذكرانه غيرسام. لكن احيانا يتطلب الامر استخدام سائل تبريد خاص ملائم لزيت الماكنة.

لا يمكن أعتبار الماء سائل قطع جيد وتستخدم الزيوت المعدنية (Mineral Oils) للقيام بعمليات التبريد. واعظم حالات التزييت تاثيرا هي عندما تفصل السطوح المنزلقةعلى بعضها بطبقة من الزيت وبصورة تامة الا انه تتولد اثناء عمليات ازالة المعدن درجات حرارة عالية من جراء ارتفاع الضغط وعليه فان وجود اضافات لتحسين الاداء تعتبرمن الامور الضرورية جدا. ومن خلال التجارب المختبرية والخبرة العملية للعاملين في هذا المجال، فقد حُددت بعض المواد لتضاف الى سوائل القطع وذلك لغرض زيادة عمر العدة (السكين) والمحافظة على نوعية جيدة لسطح المعدن(المنتج)وبدون بقع.

جدول(9-5)

يوضح ظروف التشغيل لجاميع السبائك النحاسية الثلاث.

عمليات التشغيل	مجاميع السبائك النحاسية	ظروف التشغيل			
		السرعةm/min		التغذيةmm/rev	
		تشغيل اولي	تشغيل نهائي	تشغيل اولي	تشغيل نهائي
*خراطة سكين فولاذ السرعات العالية Turning	المجموعة الاولى	90-200		0.15-0.5	0.075-0.4
	المجموعة الثانية	45-90		0.4-0.9	0.15-0.4
	المجموعة الثالثة	22-45		0.4-1	0.15-0.5
خراطة سكين كاربيدي* Turning	المجموعة الاولى	120-300	150-450	0.4-0.65	0.15-0.4
	المجموعة الثانية	120-180	150-300	0.4-0.75	0.15-0.4
	المجموعة الثالثة	75-180	90-200	0.4-0.75	0.2-0.4
تثقيب** Drilling	المجموعة الاولى	150- 60 -160		0.005-0.75	
	المجموعة الثانية	25-75		0.075-0.5	
	المجموعة الثالثة	15-40		0.075-0.5	
عمل الاسنان Tapping	المجموعة الاولى	45-75			
	المجموعة الثانية	20-45			
	المجموعة الثالثة	10-20			
توسيع الثقوب Reaming	المجموعة الاولى	60 >		0.2-1	
	المجموعة الثانية	22-45		0.2-1	
	المجموعة الثالثة	20-30		0.2-1	
تفريز Milling	المجموعة الاولى	60-75		0.15-6	
	المجموعة الثانية	45-60		0.15-6	
	المجموعة الثالثة	15-45			

* عمق القطع الاولي (1-3 mm) عمق القطع النهائي (0.4-0.75 mm).

** القيم المذكورة في الجدول للمثاقب بالاقطار (3-20mm) والتغذية أقل مماني الجدول للمثاقب التي هي أصغر من ذلك.

تستخدم نصف قيم السرعة اعلاه عندما تكون العُدة لجميع العمليات من الفـولاذ الكربوني.

9- 3- 1 تصنيف وتطبيقات سوائل القطع:

يتم اختيار سائل القطع حسب المعاييرالآتية:

1- نوع المعدن المراد تشغيله، فعند تشغيل سبائك المجموعة الاولى فـان عمليـة تبريـد العدد نادرا ما تعتبر ضرورية وقد يزيد استخدام سائل القطـع مـن عمـر العـدة (الـسكين).امـا في سـبائك المجموعـة الثانيـة مـن الـسبائك النحاسـية كـالبرَونز والبراص الصلد حيث يجدرتحقيق موازنة بين التبريد والتزييت، في حـين يكـون التزييت هوالارجح عند تشغيل سبائك المجموعة الثالثة ذات النحاتـة (الـرايش) المستمر.

2- نـوع مـادة العـدة (Tool Material)، يتـاثر اختيـار سـائل القطـع، في عمليـات التـشغيل ذات العـدد احاديـة النقطـة (Single pointed tools) (كالخراطـة والتثقيب...الخ)، بنوع مادة العدة فعندما تكون العدة من الكاربيد يمكن اجـراء عملية القطع بدون استخدام سائل قطع، ويجب استخدام مخلوط من الماء ومـواد اخرى لمنع تولد الرغوة (Fuming)عند سرع التشغيل العاليـة مـن اجـل تحقيـق عمر اطول للعدة وامكانية زيادة السرعة والتغذية وتحسين نعومـة سـطح المنـتج والوصول الى الدقة المطلوبة في القياسات. وعندما تكون العدة من فولاذ السرع العالية فيتطلب الامر استخدام سـائل التبريـد وبعكـسه يجـب ان تكـون سـرعة القطع قليلة. ويمكن تحقيق افضل النتائج عند السرعات العالية باستخدام سـائل قطع يحقق متطلبات عمليتي التبريد والتزييت معا.

3- نوع عملية التشغيل، يعتبرالهدف الاســاس لاسـتخدام سـائل القطـع اثناءعمليـة التثقيــب هــو تبريــد وازالــة النحاتــة (الــرايش) امــا في عمليــة التــشغيل النهائي(التشطيب) (Finishing) وخصوصا تلك التي تستخدم فيها عُـدد غاليـة الثمن فيكون التزييت اكثر اهمية. فأثناء عملية التفريز،على سبيل المثـال، يجـب

استخدام سوائل قطع ذات صفات تزييت عالية لمنع انزلاق حافة العدة على سطح الجزء المشغل عند ابتداء العملية. ويجب ان تكون لزوجة (Viscosity) سائل القطع واطئة في عملية توسيع الثقوب(Reaming) وذلك لابعاد الرايش(النحاتة) بكفاءة عالية لان اي تراكم قد يسبب اتساع الثقب اكثر من المطلوب (Over holes).

4- سوائل قطع من الماء المخلوط (Water Mix Cutting Fluids) وتقسم الى نوعين:

أ- زيوت ذائبة (Soluble Oils) وهي عبارة عن خليط من الزيت الممزوج بالماء واضافات اخرى والتي تساعد على استقرار الخليط ومنع الانفصال وزيادة مقاومة التاكل (Corrosion Resistance) وتحقق المخاليط قدرا من التبريد وبمواصفات تزييت محددة. تتراوح نسب الخلط النموذجية للزيت والماء بين (10%-3) لعمليات التشغيل كافة. كما يجب مراعاة اضافة الزيت الى الماء وليس العكس اثناء عملية تحضير الخليط.

ب- سوائل القطع المصنّعة (Synthetic Cutting Fluid) تصنع هذه السوائل بخلط بعض المنتجات الصناعية مع الماء.وهذه المنتجات المركزة لاتحتوي على زيوت معدنية باستثناء القليل منها حيث تحتوي على نسب قليلة منها ولذلك تسمى في بعض الاحيان المحاليل شبه الصناعية.

تزداد كثافة هذين النوعين من السوائل، بصورة عامة، من جراء تبخرالماء والتلوث بالنحاتة والمواد الاخرى.

9- 3- 2 **زيوت قطع نقيه** (Neat cutting oils)

هذه المجموعة تستخدم كسوائل قطع من دون اية اضافة من الماء، وتتكون من زيوت معدنية مصفاة واضافات لتتحمل الضغوط العالية.وهي في اغلب الاحيان زيوت دهنية خاصة. ويحدد ذلك نوع المعدن المراد تشغيله وعملية التشغيل. ويجب، في جميع انواع هذه الزيوت، مراعاة الموازنة بين عمليتي التزييت وتجنب الإضراربسطح المعدن

وخصوصا عند الاشتغال بالمكائن الالية (Automatic M/c) حيث يصعب تجنب وصول سائل القطع الى نظام التروس (Gears) ولهذا يفضل هذا النوع من سوائل القطع ليستخدم، وحسب الحالة، بحيث يمكن اختيار افضل زيت ليلائم عملية تزييت الماكنة والعدة في آن واحد.

لقد تم استبعاد الزيوت النباتية والحيوانية عن الاستخدام لهذه الاغراض وقد استبدلت بالزيوت المعدنية لكونها اكثر ملائمة.

9- 3- 3 الزيوت المركبة(Compound Oils)

وهي عبارة عن زيوت معدنية يضاف اليها وبنسبة محددة زيت نباتي او حيواني لتحسين خواصها الاحتكاكية، وهذا النوع من الزيوت ملائم لسبائك النحاس الصعبة التشغيل اي سبائك المجموعة الثالثة ويؤمن عمر اطول لأداة القطع وانهاء سطحي جيد وبدون بقع.

9- 3- 4 زيوت قطع الضغوط العالية

Extreme pressure cutting oils(EPoils)

عندما تكون عملية التشغيل صعبة جدا، بحيث ان الزيوت المركبة لا تؤمن الاداء المطلوب فيجب استخدام زيوت نقية مضاف اليها اضافات خاصة لتلائم الضغوط المرتفعة. وغالبا ما تكون هذه الاضافات من الكبريت او الكلورين او من كليهما ومن ميزات هذا النوع انه لايسبب تغييرا في لون النحاس، حيث ان غَمر لوح من النحاس بداخله لمدة ثلاث ساعات وبدرجة 100 °C لايسبب اسوداده.

والجدول (9-6) يبين انواع الزيوت المستخدمه اثناء عملية التشغيل واسماء بعض الشركات الانكليزيه المنتجه لها.

جدول (9-6)

انواع سوائل القطع.

نوع الزيت	مجاميع السبائك	عمليات التشغيل					
		التفريز	تشغيل المسننات	التثقيب	الخراطة بعد التشكيل	القطع	الخراطة بالعدد احادية النقطة
منتجات شركة موبل Mobil Oil Co. Ltd.	المجموعة الاولى	Mobilmet 140(30:1) ،mobilemet 406 ،& 451 ،& solvac double1(20:1). For all operations.					
	المجموعة الثانية	Mobilmet 140(30:1) ،mobilemet 424 ،& 454 ،& solvac double1(20:1). For all operations.					
	المجموعة الثالثة	Mobilmet 150(30:1) ،mobilemet 427 ،& 457 ،& solvac 57(30:1). For all operations.					
منتجات شركة شيل Shell Petroleum Co. Ltd.	المجموعة الاولى	Dromus B ،Dromus BS Macron and Metalina GC.For all operations.					
	المجموعة الثانية	Dromus B ،Dromus BS Macron C and Metalina GC.For all operations.					
	المجموعة الثالثة	Dromus B ،Dromus Bs Macron C and Metalina GC.For all operations.					
منتجات شركة ايسو Esso Petroleum	المجموعة الاولى	Kutwell 40 at 1:20 dilution or farax O.For all operations.					
	المجموعة الثانية	IL 2008 at 1:20 dilution or Dorton 12.For all operations.					

IL 2008 at 1:20 dilution or Dorton 14.For all operations.						**المجموعة الثالثة**	Co. Ltd.
Energol SB4. For all Operations.						**المجموعة الاولى**	**منتجات شركة النفط البريطانية** British Petroleum Co. Ltd.
Energol SB4.For all operations	**Sevora 22**			**Sevora 22**		**المجموعة الثانية**	
Energol SB4.For all operations	**Sevora 22**			**Sevora 22**		**المجموعة الثالثة**	

الفصل العاشر

تآكل النحاس وسبائكه

Corrosion of Copper and Its Alloys

الفصل العاشر

تآكل النحاس وسبائكه

Corrosion of Copper and Its Alloys

10- 1 المقدمه:

يعتبر النحاس و الكثير من سبائكه من المعادن النبيله (Noble Metals) اي التي لها مقاومه عاليه نسبياً للتآكل (corrosion). و غالباً ما يكون النحاس او احدى سبائكه ملائماً للعديد من التطبيقات الصناعيه، وبالأخص تلك التطبيقات التي تبرز فيها مشكلة التآكل وكما هو مبين ادناه:

1- التطبيقات التي تتعرض فيها السبيكه للمحيط الجوي :

تستخدم سبائك النحاس في صناعة التماثيل واللوحات الفنيه والسقوف الثانويه وواجهات البنايات واعمال الديكور والعمله المعدنيه والميداليات والمنتجات المعدنيه الاخرى كالأقفال ومقابض الابواب وغير ذالك من الأعمال الاخرى.

2- التطبيقات التي تتعرض فيها للمياه:

كالانابيب والهياكل والاجزاء المختلفة في المبادلات الحرارية (Heat exchangers) والمكثفات (Condensers)...الخ.

3- التطبيقات التي تتعرض فيها للمواد الكيميائية:

وتستخدم في محطات الطاقة والبواخروالادوات التي تتعامل مع المواد الكيميائية.

ان النتائج والبحوث المختبرية هي وإن كانت تعطي مؤشرات جيدة على معدل التاكل لكنها غير كافية لتحديد نسبة التاكل في معدن من دون الاخذ بنظر الاعتبار خبرة السنين الطويلة وبياناتها. فقد تم جمع المعلومات التي تخص هذا الموضوع كنتائج التطبيقات الصناعية خلال العقدين الماضيين من قبل جهات علمية متخصصة كمنظمة المعادن الامريكية (ASM) وذلك لما لهذه الظاهرة(التآكل) من خطورة على اغلب المعادن

والسبائك حيث يعد أحد اهم أسباب الفشل(Failure) الذي يحصل في أدائها وبصورة مفاجئة بالرغم من الفحوصات الدورية المستمرة. اما اذا اجتمع اكثر من سبب فسوف يحصل الفشل بمدة اقصرعلى سبيل المثال الكلال التاكلي(Corrosion fatigue) وتشقق التاكل الاجهادي (Stress corrosion cracking) .

ومن اجل تحديد مدى التاكل في المعدن يمكن اعتمادعملية القياس في حالات التاكل المنتظم حيث يمثل مقدار الفقدان في السمك او القطر او الابعاد الاخرى. وفي حالة التاكل غير المنتظم فمن المستحسن ان يتم قياس عمق التاكل في عدة مناطق من النموذج الواحد ويتم اخذ المعدل الاحصائي ليعطي مؤشرا عن مقدار التاكل الحاصل في المعدن.

وقد صنعت اجهزة حديثة لقياس معدل التاكل(mm/year) اونحو ذلك من الوحدات وخلال اقل من خمسة دقائق وبدقة عالية جدا وفي اي وسط(محلول) مطلوب وعند الظرف الملائم. وهذه الاجهزة مسيطرعليها حاسوبيا (Computerized)وتدعى (Potentiostat / Galvanostat) وتعطي سلوك التاكل للسبيكة على شكل رسم بياني بين جهد التاكل والتيار ومنه يمكن معرفة جهد الدائرةالمفتوحة (Open circuit potential) اضافة الى معرفة اي من السبيكتين، على سبيل المثال، أكثر نبلا من الأخرى و ما يتعلق بذلك من المعلومات.

وتختلف نسبة التاكل من معدن الى اخر في الوسط مثلما تختلف من وسط الى اخروحسب مدة التعرض لذلك الوسط، ومن هذه الاوساط ما ياتي:

1- الهواء الجوي
2- الماء بانواعه
3- التربه
4- الابخرة
5- المواد الكيميائية

10- 1- 1 التعرض للهواء الجوي(Atmospherical exposure)

ان النحاس وسبائكه المختلفة ملائمة لاستخدامها في الهواء ولجميع الاجواء عدا تلك التي تحتوي على غاز الامونيا وما شابه ذلك، حيث لوحظ من الناحية العملية حصول تشققات التاكل الاجهادي(Stress corrosion cracking) في السبائك النحاسية الحاوية على الخارصين بنسبة تزيد على20%. ولذلك فان اختيارالسبائك النحاسية في مختلف الاجواء يتوقف على تكوينها الكيميائي وخواصها اللونية والسطحية.

10- 1- 2 التعرض للتربة (Exposure to soil)

يستخدم النحاس وبعض المعادن الاخرى تحت الارض لكثير من التطبيقات، حيث يمكن تقسيم التربة الى اربعة انواع هي:

1- تربة حامضية جيدة التهوية قليلة الاملاح(Well aerated soil)

2- تربة رديئة التهوية(Poorly aerated soil)

3- تربة قاعدية كثيرة الاملاح (Alkaline clay)

4- تربة كبريتيدية (High sulfide soil)

يبين الشكل(10-1) مقارنة لنسبة التاكل الحاصلة في كل من الحديد والخارصين والرصاص والنحاس وفي الانواع الاربعة من الترب، حيث يتضح ان النحاس يبدي مقاومة كبيرة نسبيا للتاكل في هذه الترب والتي تمثل معظم انواع الترب التي تمت دراستها في الولايات المتحدة، وبامكان المختصين دراسة التربة وتحليلها من اجل تحديد نوعية السبيكة المناسبة وتحديد اسلوب معين للحماية المناسبة كاستخدام طريقة الحماية الكاثودية او استخدام الحجر الجيري للتبطين والتغليف الخ.

ومن خلال دراسة الهياكل المعدنية التي تكون على تلامس مع التربة لمدة طويلة يتضح ان النحاس وسبيكة برونز السليكون والبراص منخفض الخارصين(Low Zinc Brass) لها سلوك متشابه من حيث قابليتها على مقاومة التاكل في التربة. اما اذا كانت التربة محتوية على نسب مرتفعة من الكبريتات والكلوريدات وايونات الهيدروجين فانها

تسبب تاكلا لهذه المعادن، كما وان نسب التاكل في البراص الحاوي على خارصين اكبر من% 22 تزداد كلما زادت نسبة الخارصين في السبيكة.

10- 1- 3 التعرض للماء(exposure to fresh water)

تستخدم الانابيب النحاسية بصفة عامة في نقل الماء النقي في العمارات السكنية وسخانات الماء وفي الصناعة والمختبرات وغيرها. وفيما يلي صورة مصغرة عن موضوع التاكل في النحاس وسبائكه بسبب تعرضها للماء

أ- النحاس:

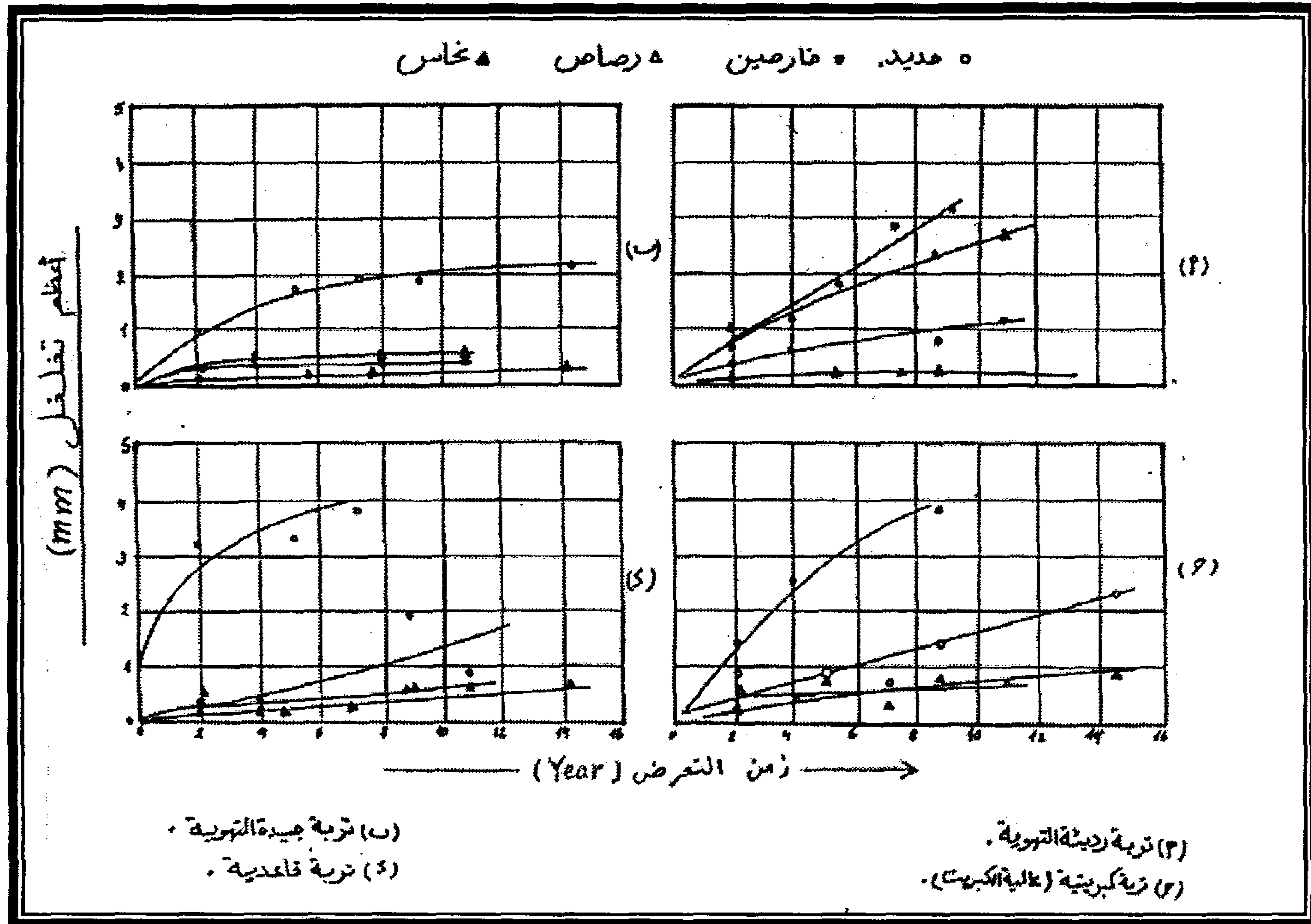
تتحد المواد الموجودة في الماء مع الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون المذابين في الماء وتتفاعل مع النحاس مكونة طبقة واقية نسبيا، لذلك فان نسبة التاكل تكون قليلة في اغلب الحالات التي يتعرض فيها النحاس للماء حيث يتراوح معدل التاكل(5-25μm/y) اواكثربقليل حسب نسبة الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون المذابين في الماء.

ب- البراص :

ان نسبة تاكل البراص في الماء الصافي اقل اذ يتراوح معدل التاكل(2.5-25μm/ y) وتكون اكبر من ذلك كلما زادت نسبة الاوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون في الماء ايضا. وعندما يكون الوسط المائي حامضي فان البراص المحتوى على% 15 خارصين او اقل يكون اقل عرضة للتاكل المعروف بظاهرة انتزاع الخارصين(Dezincification). لذلك فان هذا النوع من البراص يستخدم بنجاح في هذه الاوساط. اما سبائك النحاس الحاوية على نسبة خارصين تتراوح بين %40-35 فتكون اكثر عرضة لظاهرة التاكل المذكورة عند ملامستها المستمرة للماء الحامضي او اي وسط حامضي اخر. وكما هو معروف من الناحية العملية فان سبيكة بـــــراص الالمنيوم (77Cu21Zn2Al) وحسب المواصفات العالمية تستخدم بنجاح في المبادلات الحرارية والمكثفات لمقاومتها للتاكل.

ج- سبائك النحاس نيكل

يكون معدل التاكل في هذا النوع من سبائك النحاس اقـل مـن(25μm/ y) وهـي تستخدم لمقاومة التاكل الارتطامي (Impingement)عند التعرض لتيارات الهواء السريعة التي لا يمكن التغلب عليها بتغيير ظروف التشغيل او التصميم.



شكل(10 – 1)

مقارنة لتآكل المعادن في أنواع الترب المختلفة.

د-سبائك النحاس- سليكون

وتسمى برونزيات السليكون، حيث تمتازهذه السبائك بمقاومة عالية للتاكل كما ان نسبة الاوكسجين في الماء لا تشكل سببا لزيادة التاكل فيها خلافا لما في انواع البراص انفة الذكر. وعند وجود ثاني اوكسيد الكاربون في الماء فان التاكل يـزداد ولكـن بنـسبة قليلـة خصوصا عند درجة حـــــرارة ($60\ ^oC$).

هـ- سبائك النحاس- المنيوم

وتسمى برونزيات الالمنيوم، وتمتاز هذه السبيكة بمقاومتها لعدة انواع من التاكل وفي عدة انواع من الاوساط المائية، كماء البحر والماء النقي وغيرهما. وبصورة عامة فان الماء النقي يسبب التاكل اكثر من المياه الثقيلة، فمثلا تستخدم سبيكتي برونز الالمنيوم(89Cu-7Al-3Fe) و(81Cu-9Al-4Fe-4Ni-1.5Mn) في تصاميم ابراج التبريد(Cooling Towers) وذلك لان سبيكة برونزالالمنيوم تقاوم التاكل بسبب غشاء اوكسيد الالمنيوم (الالومينا Al_2O_3)المتكون على سطحها.

10- 1- 4 التعرض للابخرة

للنحاس وسبائكه مقاومة عالية للتاكل عند التعرض للابخرة النقية، اما عندما يكون البخارمصاحبا للاوكسجين اوثاني اوكسيد الكاربون اوالامونيا وبنسب كبيرة فان التكثف (Condensation) يمثل ظرفا مسببا للتاكل. ان سبائك النحاس- نيكل هي الانسب للاجزاء التي تتعرض لدرجة حرارة وضغط عاليين، كما في حالات مرور الابخرة في المبادلات الحرارية والمكثفات. وان عددا من سبائك النحاس تعاني من تشقق التاكل-الاجهادي (Stress corrosion cracking) عند تعرضها للابخرة وبضغوط عالية، وسبيكة برونزالالمنيوم الخالي من القصديرهي احدى سبائك النحاس التي يمكن ان تستخدم للغرض نفسه.

لا يتاكل النحاس وسبائكه بالبخار المتكثف (Condensated steam) الخالي من الغازات غير المتكثفة (غير القابلة على التكثف) حيث ان نسبة التاكل لا تزيد على (40µm/ y)، كذلك لايتاكل النحاس وسبائكه بالمواد المتكثفة الحاوية على الزيوت كما في المكائن البخارية الهزازة (العكسية)(Reciprocating Steam Engine)، اضف الى ذلك ان نسبة التاكل تعتمد على محتوى البخار المتكاثف من اوكسجين وثاني اوكسيد الكاربون وهكذا، و المثال الاتي يوضح ذلك: مثال: تحتوي المادة المتكثفة على(4.5ppm) من الاوكسجين و(14ppm) من ثاني اوكسيد الكاربون وحموضته (pH=5.5) وعند درجة حرارة (68°C)وتسبب معدل تاكل يتراوح بين (175-350µm/ y) في كل من النحاس

الزرنيخي (Arsenical Copper)، والنحاس الفسفوري كامل الاختـزال (Phosphorus Deoxidized Copper) والبراص الاحمـر والنحـاس – نيكـل (CuNi20)، بينمـا يتاكـل الفولاذ وتحت نفس الظروف اعلاه بضعف المعدل المذكورللسبائك النحاسية، وعند طلاء النحاس بالقصدير (Tin coated copper) فانه يقاوم التاكل بصورة افضل اذ يقل معـدل التاكل الى حوالي (25µm/ y).

ومن اجل الوصول الى اطول عمر للاجهزة التي تتولد فيهـا المـادة المتكاثفـة تتبـع الاحترازات الاتية:

1- التاكد من ميل الانابيب بـصورة صـحيحة لتـامين انـسياب المـادة المتكاثفـة بصورة مناسبة (proper drainage).
2- تقليل نسبة الاوكسجين وثاني اوكسيد الكـاربون المـذابين في المـاء الى الحـد الادنى، مهما امكن، وبالطرائق الكيميائية والميكانيكية المعلومة.
3- معالجة الابخرة كيميائيا.
4- تحذير العاملين في محطـات توليـد الابخـرة(Boiler houses) مـن اسـتخدام الامونيا والتي ترفع مقدار قـاعدية المـــاء وذلـك لان اضـــافة الامونيـا تسبب التلـــوث (Contamination) والتاكـل بدرجـة كـبيرة في المكثفـات والمبادلات الحرارية.

10- 1- 5 التعرض للمياه المالحة:

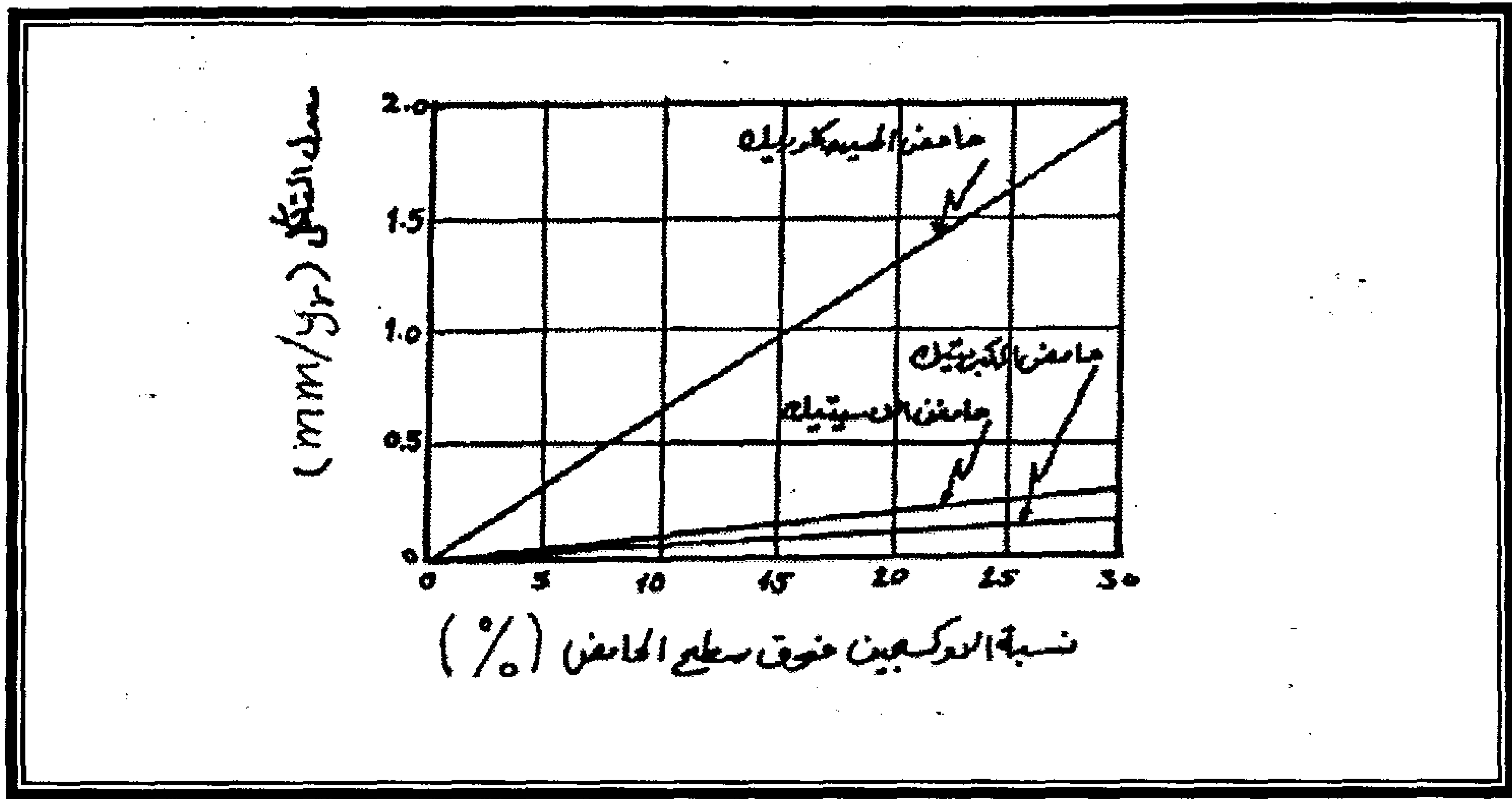
يستخدم النحاس وسبائكه في الاجهزة والمعدات التي تتعرض للمياه المالحة او مـاء البحر(Sea water) كبعض اجـزاء البواخرومحطـات توليـد الطاقـة، حيـث تمتازالـسبائك النحاسية المخصصة لهذا الغرض بمقاومة عاليـة للتاكـل وهـي اكـبر، عـادة، مـن مقاومـة النحـــاس النقـــي للتاكـــل. ومـــن الامثلـــة علـــى هـــذه الـــسبائك ســبيكة بـــراص قـصدير(71Cu28Zn1Sn) و برونزالالمنيـوم (89Cu7Al3Fe0.5Sn) وسـبائك النحـاس نيكل (CuNi10) و(CuNi30).

وتمتازهذه السبائك بقابليتها العالية على مقاومة التفاعل مع مياه البحروذلك بتوليد طبقة اوكسيدية تقاوم التاكل الاضافي الذي يحصل بسبب تيارات الماء الدوامة والتي تحمل بعض الهواء معها. وعندما تكون سرعة الماء عالية فانه من المفضل من الناحية العملية استخدام احدى سبائك النحاس نيكل انفة الذكر.

10- 1- 6 التعرض للحوامض

تنقل المحاليل الحامضية غير المؤكسِد (Non-Oxidizing) كما في حامض الهيدروليك والخليك والكبريتيك والفسفوريك باستخدام سبائك النحاس وبصورة ناجحة طالما تبقى نسبة الوسط المؤكسد (الاوكسجين او ايونات الحديد -----الخ) منخفضة.

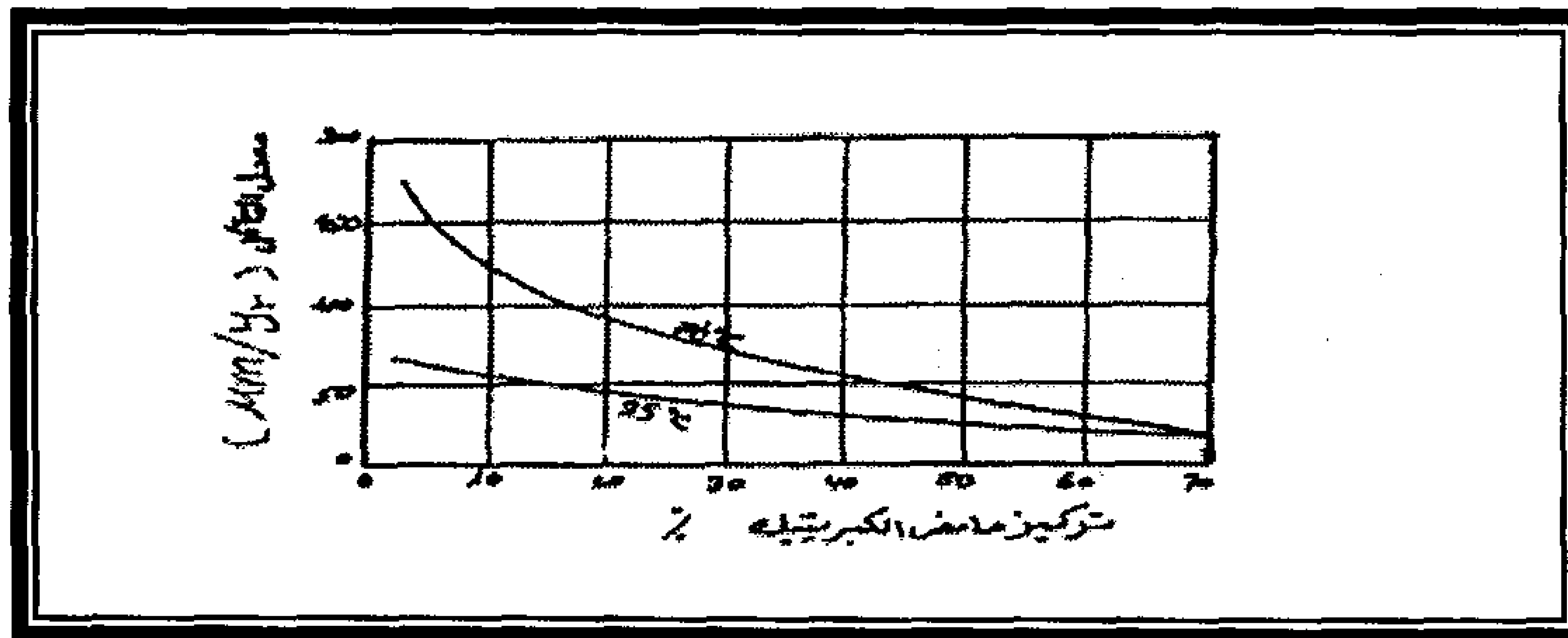
اما بالنسبة الى المحاليل الحامضية المؤكسدة(Oxidizing) كما في حامض الكبريتيك المخفف وحامض النتريك وسواهما فانها لايمكن ان تنقل او تحفظ في الاواني المصنعة من سبائك النحاس والشكل (10-2) يبين تاثير الاوكسجين الموجود فوق سطح الحامض في زيادة معدل التاكل في كل من الحوامض غير المؤكسدة (الهيدروكلوريك HCl والكبريتيك H_2SO_4والخليك CH_3COOH) علما بان تركيز المحاليل كان (1.2N) وان النماذج غمرت في هذه المحاليل لمدة 24 ساعة وعند درجة حرارة$^{\circ}C$ 24، وتم تغيير نسبة الاوكسجين في الفضاء، فوق سطح الحامض لكل فترة 24 ساعة.



الشكل (10-2)

تأثير الاوكسجين في تآكل النحاس لتركيز (1.2N) لعدد من الحوامض.

ويبين الشكل(10-3)، معدل تاكل سبيكة النحاس(97Cu3Si) في حامض الكبريتيك (H_2SO_4) حيث تم غمرالنماذج لمدة 48 ساعة وفي درجة حرارة معينة وبدون تهوية، ومنه يتضح انه كلما زاد تركيز محلول حامض الكبريتيك يقل معدل التاكل في هذه السبيكة ويقل المعدل كذلك لنفس التركيز عندما تقل درجة الحرارة.



شكل(10-3)

معدل تآكل سبيكة (97 Cu3Si) في حامض الكبريتيك.

ويمكن المقارنة بين معدلات التاكل لثلاثة حوامض مختلفة في الجدول(10-1). اما بالنسبة الى بقية الحوامض كحامض الفسفوريك والخليك والفورميك والماليك وما شابه ذلك فانها جميعا تسلك سلوكا مشابها لسلوك حامض الكبريتيك.

جدول(10-1)

معدل التاكل لسبيكة(97Cu3Si)في ثلاثة انواع من الحوامض عند درجة حرارة الغرفة.

الحامض	معدل التاكل um/year
حامض النتريك تركيز32%	240
حامض الهيدروليك المركز	0.75
حامض الكبريتيك تركيز17%	0.15

10- 1- 7 التعرض للمحاليل القاعدية:-

تقاوم سبائك النحاس التاكل الذي تسببه المحاليل القاعدية(Alkaline Solutions)ما عدا تلك التي تحتوي على هيدروكسيد الامونيوم او المركبات المهدرجة لهيدروكسيد الامونيوم او سيانيدات الامونيوم (Hydrolize to Amonium Hydroxide or Cyanides) حيث يتفاعل هيدروكسيد الامونيوم مع النحاس مكونا مركبات من ايونات النحاس الموجبة والمعقدة والقابلة للذوبان(Soluble Complex copper cations) بينما تتفاعل السيانيدات مكونة مركبات من ايونات النحاس السالبة والمعقدة والقابلة للذوبان ايضا(Soluble Complex Copper Anions)، اما بالنسبة الى بقية المحاليل القاعدية فان معدل التاكل(Corrosion rate) الذي تسببه في سبائك النحاس-نيكل يتراوح بين(50 -500µm/ y) عند درجة حرارة الغرفة، بينما يصل معدل التاكل بين (500-1750µm/ y) في المحاليل المعرضة للهواء وعند درجة حرارة الغليان وكمثال على ذلك فان سبيكة النحاس- نيكل(CuNi30)تتاكل بمعدل(5µm/ y) في محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) الذي تركيزه العياري بين (1-2N) وعند درجة حرارة الغرفة، بينما يصل معدل التاكل الى الضعف او ثلاثة اضعاف عند درجة حرارة الغليان.

اما بالنسبة لهيدروكسيد الامونيوم(NH_4OH)فعند خزن المحلول في اوعية من النحاس و سبائكه فسيحدث تاكل سريع فيها مقارنة مع معدلات التاكل الذي تحدثها هيدروكسيدات المعادن الاخرى وذلك بسبب سهولة تكوين مركبات معقدة من النحاس والامونيا كما اسلفنا. ومع هذا نجد وفي بعض التطبيقات الصناعية التي يكون فيها محلول هيدروكسيد الامونيوم غيرنقي فان معدل التاكل يكون قليلا.

10- 1- 8 التعرض لمحاليل الاملاح

يستخدم النحاس وسبائكه في تصنيع معدات نقل محاليل الاملاح المختلفة وبالخصوص الاملاح الطبيعية كاملاح الصوديوم والبوتاسيوم (النترات والكبريتات والكلوريدات) حيث تعتبرالكلوريدات اكثرمن بقية الاملاح فعالية في احداث التاكل وخاصة عندما تكون تهوية المحلول جيدة، اما عن العوامل المؤثرة في معدل التاكل فهي مقدار (مدى) تهوية المحلول ودرجة حرارته.

10- 1- 9 التعرض للمركبات العضوية:

يقاوم النحاس وسبائكه التاكل الذي تسببه المركبات العضوية (Organic Compounds) كالامينات (Amines) والاسترات (Asters) والكلايكولات (Glycols) والايثرات (Ethers) وسواها حيث ان معدل التاكل فيها قليل نسبيا ويزداد اذا شيبت (خلطت) بمحاليل حامضية اوقاعدية او املاح او بعض منها وخاصة عند درجات الحرارة العالية.

النفط الابيض (الكاز) (Kerosene) وهو من المنتجات النفطية والتي لا تسبب تآكلا للنحاس وسبائكه، الا انه وخلال المسلك الصناعي لانتاج مثل هذا النوع من المنتجات لابد ان تتلوث المعدات النحاسية بالماء او الحوامض او الكبريتات او اية مواد اخرى والتي قد تجعل النفط الابيض مسببا للتاكل. وفي الواقع الصناعي تستخدم السبيكتين (CuNi30) و(71Cu28Zn1Sn) في تصنيع المعدات الخاصة بتصفية او تكرير النفط الابيض لكونها اكثر سبائك النحاس مقاومة للتاكل الذي يحدثه النفط الابيض الملوث.

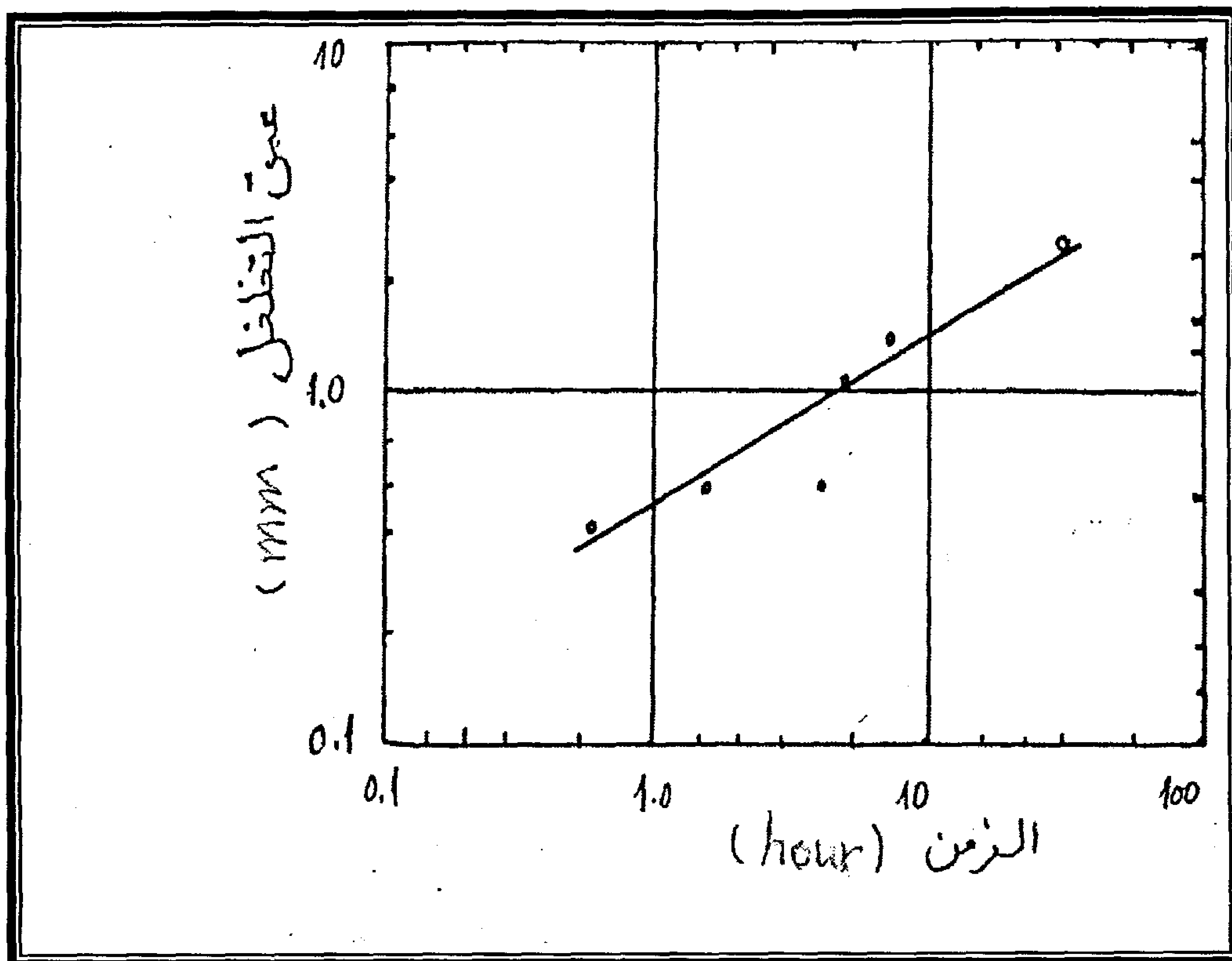
10- 1- 10 التعرض للغازات

أ- اول اوكسيد الكاربون(CO)وثاني(ثنائي)اوكسيد الكاربون(CO_2)

وهما لايؤثران في النحاس وسبائكه لانه لايحصل التاكل الا عند وجود الجرة حيث يعتمد معدل التاكل على مقدارها ولذلك فان المعدات التي تستخدم لحفظ اونقل اول اوكسيد الكاربون تحت ضغط عال تبطن ببطانة من النحاس او احدى سبائكه وذلك لان بعض انواع الفولاذ التي تصنع منها الانابيب، على سبيل المثال، تتآكل بوجود هذا الغاز.

ب-الهيدروجين(H_2)

من المستبعد حصول التاكل في النحاس وسبائكه الخالية من الاوكسجين اواكاسيد النحاس في بنيتها الجهرية بسبب تعرضها للهيدروجين، فعلى سبيل المثال، فان النحاس الالكتروليتي غير كامل الاختزال (ETPCu) يحتوي على بعض من اكاسيد النحاس وبكميات قليلة وكذلك الحال في النحاس غير كامل الاختزال والمنقى بالنار (FRTPCu) حيث ان وجود الاوكسجين في بنية المعدن يؤدي لتكون الماء بسبب انتشار الهيدروجين الى داخل المعدن وتفاعله مع الاوكسجين عند درجات الحرارة العالية(اعلى من 375°C)، وعندما تزداد درجة الحرارة عن ذلك يتولد بخار ماء والذي بدوره يؤدي الى خفض مطيلية(Ductility) المعدن حيث تسمى هذه الظاهرة بهشاشية الهيدروجين (Hydrogen embrittlment) والشكل(10-4)يبين مدى خطورة هذه الظاهرة (تغلغل او انتشار الهيروجين) في النوع الاول من النحاس(ETPCu) بعد تسخينه، في محيط من الهيدروجين،الى درجة (600 °C) ولأزمان مختلفة.



شكل(10-4)

عمق تغلغل الهيدروجين في النحاس (ETPCu) عند درجة الحرارة 600° C و لأزمان مختلفة.

ج- الاوكسجين الجاف

تستخدم انابيب النحاس وسبائكه في نقل الاوكسجين الجاف عند درجة حرارة الغرفة كما في انظمة توزيع الاوكسجين في المستشفيات، واثناء مروره داخل الانابيب قد ترتفع درجة حرارته فتتولد اكاسيد النحاس، نتيجة لتفاعله مع النحاس، وتكون على شكل طبقة رقيقة حيث يختلف لونها كلما زاد سمكها وكما في الجدول(10-2).

جدول(10-2)

علاقة لون طبقة الاكسدة بسمكها.

لون طبقة الاوكسيد	سمكها(nm)
بني غامق	37-38
بني غامق جدا	45-46
بنفسجي	47-49
ازرق غامق	50-52
اصفر	94-98
برتقالي	110-120
احمر	124-126

10- 2 الصفات المميزة للتاكل في النحاس وسبائكه :

يستخدم النحاس وسبائكه في المجالات العديدة والتي تعد اوساطا ضارة ومعادية للمعادن الاخرى. ويقاوم النحاس الظروف الجوية والمياه الاعتيادية والمياه المالحة والمحاليل القاعدية (عدا تلك التي تحتوي على هيدروكسيد الامونيوم والمركبات المهدرجة كما مرذكره) والمركبات العضوية. ان مقاومة النحاس للتاكل في المحاليل الحامضية يعتمد على نوعية الحامض وتركيزه ودرجة حرارته وغيرذلك من الظروف. ويعتبرالنحاس المعدن المناسب للاستخدام في العديد من المحاليل الملحية.

يتعرض النحاس وسبائكه، كغيرة من المعادن، الى انماط مختلفة من التاكل وتعتمد نوعية التاكل اساسا على حالة الجو او المحيط ويمثل الجدول(10-3) صفات وحالات التاكل الشائعة الحصول للنحاس وسبائكه وطرائق منعه اوتقليلة.

جدول(10-3): حالات التآكل وصفاته المميزة مع طرائق تقليلة.

حالة التاكل	صفته	طريقة منعه او التقليل منه
الترقيق العام General thinning	الازالة الموحدة المنتظمة للمعدن	عزل المعدن عن الوسط المحيط به بناء على مقدار فقدان الوزن الناتج عن التاكل في ذلك الوسط فيوضع في الوسط الاقل
التاكل الكلفاني Galvanic Corrosion	تاكل يحدث قرب منطقة المهبط الكاثود (cathode)	أ- تجنب تماس المعادن غير المتشابه في الجهد ب- اعتماد النسبة المفضلة لمساحة الانود الى الكاثود ج- اعتماد التركيز الافضل للمادة المؤكسدة في محلول التاكل
التنقر pitting أ- خلية التركيز Concentration cell	التنقر بوجود الماء، التاكل التصدعي وبوجود الاجسام الغريبة والاوساخ	التصميم بادخال التصدع بالاعتبار وابقاء المعدن نظيفا.
ب- الارتطام Impingement	تاكل ناتج عن الجريان المضطرب للسوائل والغازات ويكون على هيئة خطوط من التنقروباتجاه جريان المائع	التصميم على اساس الجريان المنتظم والمحافظة على سرعة جريان قليلة، ازالة الغازات من الموائع
ج- بلي الفرك Fretting Wear	تنقر ناتج عن الاحتكاك القليل بسبب الازاحات النسبية القليلة جدا اي حتى على المدى المرن، يحدث غالبا عند شحن المعدات	تزييت المنطقة المحتمل حدوث الاحتكاك فيها، عزل مناطق الحركة النسبية بادخال اوراق بين صفائح المعدن وتقليل الحمل على سطوح الاجزاء المتماسة من المعدن والمرتكزات.
د- انتزاع بعض مكونات السبيكة Dealloying	كما في حالة ازالة الخارصين او القصدير من السبيكة لينتج عن ذلك طبقة من النحاس الاسفنجي.	عزل السبيكة مهما امكن عن المحيط او الوسط المسبب لهذه الازالة وحسب التكوين الكيميائي للسبيكة.
ه- تشقق التاكل الاجهادي Stress corrosion cracking	التشققات التي تحدث ضمن اوبين البلورات (grains) بسبب الاجهادات الخارجية او الداخلية المتواجدة.	عزل السبيكة عن الوسط الاكال وحسب التكوين الكيميائي لها، تقليل او ازالة الاجهادات بنوعيها الداخلي والخارجي، ازالة مركبات الزئبق او الامونيا من الوسط المحيط.
و- تاكل الكلال Corrosion Fatigue	تشققات متعددة ضمن البلورات بسبب الاجهاد الدوري المسلط.	عزل السبيكة عن الوسط الاكال وتقليل الاجهادات الدورية.
ز- التاكل بين البلورات corrosion Intercrystalline	تاكل على طول الحدود البلورية وبدون ظهور مرئي للتشققات	عزل السبائك عن الوسط الاكال وفحص البنية الدقيقة للسبيكة دوريا

10- 2- 1 انواع التاكل

أ- التاكل العام(General corrosion):

وينتج عن تعرض سطح المعدن لوسط التفاعل مؤديا الى مهاجمة السطح والتغلغل فيه ليؤدي ذلك الى تاكل السطح. ويمكن حساب معدل التغلغل بطريقة فقدان الوزن (Weight-loss data). ويحصل هذا النوع من التاكل عند التعرض لفترة طويلة للوسط المساعد على ذلك حيث يكون معدل التاكل بطيئا في العادة. كما هي الحال في المياه العذبة والمالحة وعدة انواع من الترب والمحاليل القاعدية والحامضية والاملاح والاحماض العضوية، اضافة الى المواد الاخرى المسببة للترقيق (Thinning) وبسرعة نسبية حيث تحوي احماضا مؤكسدة وامونيا وسيانيدات.

ب- التاكل الكلفاني(Galvanic corrosion):

وهو التاكل الناتج بسبب فرق الجهد الكهروكيميائي والحاصل بين معدنين مختلفين في الجهد مغمورين في محلول موصل للكهربائية (Electrolytic Solution) أحدهما يحصل فيه التاكل(ذو القطبية الموجبة) ويدعى المصعد (anode) ويحفظ الاخر جزئيا او كليا من التاكل ويدعى المهبط (cathode) (ذو القطبية السالبة).

يسلك معدن النحاس غالبا سلوك المهبط (Cathode) بالنسبة للمعادن الاخرى كالفولاذ والالمنيوم، فعندما يوضع النحاس على تلامس مع احدهما فان معدل التاكل للفولاذ او الالمنيوم سيزداد حيث يسلك النحاس هنا سلوكا مهبطيا (cathodic)، بينما لو وضع الفولاذ المقاوم للصدا(Stainless steel) بتماس مع النحاس فيسلك سلوكا مغايرا أي إما ان يكون مصعدا (Anode) اومهبطا (Cathode) اعتمادا على حالة التعرض.

ان جهد التاكل للنحاس هو(-0.2 to -0.4mV)عندما يقاس مقابل عمود كهربائي مشبع كما ان جهد النحاس النقي حوالي (-0.3mV). وعند اضافة الخارصين او الالمنيوم الى النحاس فانهما سيغيران الجهد نحونهاية حدود المصعد بينما لو أضيف النيكل او القصديرفسيغيران الجهد نحو المهبط (Cathode). ويبين الجدول(10-4) تسلسل المعادن

والسبائك من حيث تأثرها بالكلفنة في وسط حامضي ضعيف او ماء البحر، كما ان المعادن القريبة من بعضها لا تتأثر بعملية الكلفنة عند تماسها او وجودها في اوساط اكالة. اما المعادن المتباعدة عن بعضها ضمن السلسلة فيحصل لها تغيير بالنسبة للمعادن التي تسلك سلوكا مصعديا (Anodic) وكلما كانت المجموعة متباعدة عن بعضها اكثر كلما كان التاكل اكبر.

جدول(10-4)

تسلسل المعادن وسبائكها من حيث تاثرها بعملية الكلفنة.

الفضة ↓	Cu39.2Zn0.8Sn60 ↓	سبيكة المنيوم 2024 ↓	نهاية المصعد (anode)
الذهب	نيكل(فعال)	فولاذ واطيء الكاربون	مغنيسيوم ↓
البلاتين	70Cu-30Zn	فولاذ مطاوع(Mild steel)	سبائك المغنيسيوم
نهاية المهبط	71 Cu-28Zn-1Sn	حديد الزهر(Cast iron)	خارصين
(Cathode)	برونزيات الالمنيوم	نيكل مقاوم.Ni-Resist	فولاذ مغلون(مطلي بالخارصين)
	91 Cu-7Al-2Fe	فولاذ مقاوم للصدا (416) (فعال)	سبيكة الالمنيوم H 5052
	90 Cu-10Zn	50Pb-50Sn	سبيكة المنيوم 3004
	نحاس Cu	فولاذ مقاوم للصدا(304) (فعال)	سبيكة المنيوم 3003
	98.5Cu-1.5Si	فولاذ مقاوم للصدا(316) (فعال)	سبيكة المنيوم 4100
	70 Cu-30Ni	رصاص	سبيكة المنيوم 6053
	نيكل(غيرفعال)	قصدير	المنيوم مكسي(Clad Al)
	فولاذ مقاوم للصدا(304)(غيرفعال)	60Cu-40Zn	كادميوم
	فولاذ مقاوم للصدا(316)(غيرفعال)	برونز المنغنيز C67500	سبيكة المنيوم 2017

ومن العوامل المؤثرة في عملية التاكل الكلفاني هي:-

1- التوصيلية الكهربائية بين المعادن والتي تؤثر في معدل التآكل.
2- منطقة الربط بين المعدنين حيث يحدث اعظم تآكل عند منطقة الربط.
3- اختلاف الجهد(Potential) بين المعدنين.
4- نسبة مساحة سطح المهبط (Cathode)الى المصعد (Anode)، حيث يزداد معدل التاكل اذا كانت النسبة كبيرة، على سبيل المثال، لو استُخدم لربط صفائح الفولاذ برشام من النحاس (Copper rivet) فان معدل التاكل اقل بكثير مما لو استخدمت صفائح نحاسية مربوطة ببرشام من الفولاذ.

وهناك خمسة طرائق رئيسة لتقليل او تحديد ظاهرة التاكل الكلفاني وهي:

1- عزل المعادن غير المتساوية بالجهد بمادة عازلة كهربائيا عند الربط.
2- تجنب اختيار نسبة مساحة مصعد (Anode) الى مساحة مهبط (Cathode) صغيرة.
3- تجنب استخدام المعادن ذات الفرق الكبيرفي الجهد قدر الامكان.
4- استخدام طلاء جيد للمعادن و خصوصا المهبط (Cathode).
5- استخدام مصعد التضحية (Sacrified anode) وهو استخدام معدن ثالث يعمل كمصعد (anode) للمعدنين.

ج- التاكل النقري (Pitting Corrosion):-

يحصل هذا النوع من التآكل في مختلف المعادن كما يحصل في النحاس وسبائكه ايضا وتحت ظروف محددة، حيث يبدا بهجوم (تفاعل) موضعي (Local attack) على مناطق متعددة وينتج عنه حفر في سطح المعدن مختلفة الاقطار والاشكال لتعطي سطحا متنقرا وقد تنتشر النقرلتشمل كامل السطح. ويؤدي التنقرالى التقليل من المساحة المعرضة وبالتالي من طاقة التحمل، ويزيد من تركيزالاجهادات في مناطق النقر، ويحصل التنقرعادة في السطح غيرجيد التغطية او الطلاء او نتيجة لوجود اوساخ (تلوث) على سطح المعدن.

ويضم التنقرعدة انواع واليات منها التشقق او التصدع والتصادم مع تيارمائي و الارتطام والاحتكاك والخلايا المركزة وتمثل انواعا خاصة. ويتكون التنقرنتيجة تكوين خلايا كهربائية موضعية بسبب الاختلاف في ايونات المعدن او تركيز الاوكسجين عند الشقوق فتعمل كمصعد (Anode) بالنسبة للمعدن خارج الشقوق ويحصل التآكل خصوصا عند وجود الملوثات على السطح ومناطق الربط.

ان تعرض المعدن لتيار المائع يحدث تآكل التعرية (Erosion-corrosion) فيحصل عند ارتطام الغازات او الابخرة او السوائل مع سطح المعدن وبسرعة عالية نسبيا، كما المكثفات والمبادلات الحرارية، وتلاحظ بصورة واضحة عندما تكون المياه محتوية على بعض مركبات الكبريت او المياه الثقيلة او الغرينية او المالحة. ويحدث هذا النوع من التآكل في مناطق الاخاديد والانابيب الناقلة وخصوصا عندما يتغير قطرها وعند مناطق الانحناء الشديد فيها وقد تعطي هذه التنقرات شكل حذاء الفرس (horse shoe) نتيجة لتدفق السائل وتفاعله مع السطح. يحصل تآكل التعرية عندما يكون جريان السائل سريعا ومضطربا ويظهرجليا عند مداخل الانابيب وانحناآتها. ويمكن التقليل من هذا النوع من التآكل عن طريق تقليل سرعة السائل والتخلص من الهواء المخلوط معه وذلك بالعمل على تنظيم الجريان.

والشكل الاخر من التنقر ويدعى بلي الفرك (Fretting wear) حيث يظهر على شكل تنقر او اخاديد على سطح المعدن. ان الاسباب الاساسية لهذا النوع من البلي هي:

1- الحركة النسبية، حتى القليلة جدا، بين السطحين.
2- طبيعة السطح المحمل.
3- ان يكون الحمل والحركة كافيان لحصول تشوه في السطح.
4- وجود المحيط المساعد كالاوكسجين او الرطوبة مما يبرز هذا النوع من البلي بصورة واضحة.

لا يحصل البلي بصورة عامة في السطوح المزيتة و التي تكون فيها الحركة مستمرة الى حد ما، كما في مرتكزات اعمدة الادارة (Journal bearings) لان الزيت يمنع التماس المباشرللسطحين خصوصا عند السرع العالية.

ولكن قد يحدث بلي الفرك (Fretting wear) في السطوح الجافة المتلامسة والمعرضة لازاحات نسبية صغيرة جدا حتى على المستوى المرن. ان اشد بلي يحصل هنا اثناء نقل الماكنات وما شابه ذلك حيث تتعرض الى الاهتزازات وحتى اثناء عمل الماكنة وما يصاحب ذلك من أهتزازات (Vibrations) فيتكون عندئذ في السطوح المتماسه.

ان هذا البلي غير مقتصر على النحاس وسبائكه وانما يشمل اغلب انواع المواد كالفولاذ والالمنيوم والميكا والزجاج وغيرها، ويمكن السيطرة على هذا النوع من البلي والحد منه بما ياتي:

1- تزييت السطوح، حتى المثبتة بلولب او برشام (Screw or rivet)، بزيوت خفيفة(ذات لزوجة قليلة) وذات ثبوت كيميائي عالي لتقليل الاحتكاك والتخلص من الاوكسجين.

2- عزل السطحين بادخال مادة عازلة بينهما كالورق.

3- زيادة شد اللوالب او زيادة الحمل لتقليل الحركة بين السطحين المحتكين الى اقل حد ممكن.

د- نضوب او نزع بعض مكونات السبيكة(Dealloying):

وهو نوع من انواع التاكل يحدث في ظروف معينة للمعدن الاكثر فعالية مؤديا الى ازالته من السبيكة. ان سبائك نحاس خارصين التي تحتوي على اكثرمن(15%) من الخارصين تكون عرضة لهذا النوع من التآكل ويدعى انتزاع او نضوب الخارصين(Dezincification) حيث تحصل ازالة للخارصين تاركا وراءه مسامية في السبيكة وتتكون طبقة من النحاس واوكسيده مما يؤدي الى ضعف التركيب اولا وتسرب السوائل الخارجية والغازات الى داخل تلك المسامات. يقع نزع مكونات السبيكة الموضعي(Plug-Type Dealloying) في مساحات معينة فقط، اما المساحات المجاورة

فتكون عادة غير متأثرة او تتأثر قليلا. اما سبيكة النحاس التي تحتوي على أكثر من85% نحاس فتقاوم هذا النوع من التاكل. وتكون عملية نزع الخارصين من البراص الذي يحتوي الطور بيتا(β-Phase)والطور الفا(α-phase) في بنيته، على مرحلتين الأولى للخارصين الموجود في الطور بيتا والعالي نسبيا ثم للخارصين الموجود في الطور الفا والواطيء نسبيا. ولذا تستخدم سبائك تحتوي على 1% قصديرلتقاوم نزع الخارصين او يضاف الى البراص قليل من الفسفور او الزرنيخ (Arsenic) او الانتيمون لمنع حصول هذا النوع من التاكل.

ان هذا النوع من التاكل قد يحصل في بعض السبائك الاخرى كما في حالة نزع الالمنيوم(Dealuminification) من سبائك النحاس- المنيوم، اونزع الكوبلت او النيكل وتحت ظروف خاصة.

هـ- التاكل بين البلورات (Intergranular Corrosion):-

تمتلك الحدود البلورية(الحبيبية) طاقة اعلى مما في داخل الحبيبات وهذا يعني ان ذرات الحدود البلورية لها طاقة أعلى من الذرات داخل البلورة(الحبيبة) ولذا يكون تفاعل الوسط (المحيط) معها اسهل من تلك التي في داخل البلوره اي يكون التاكل عند الحدود البلورية اسرع من بقية اجزاء البلورة(Grain) فتكون مقاومة الحدود البلورية للتاكل اقل في العادة. ويظهرهذا النوع من التاكل عند بعض التطبيقات في الاوعية التي تشمل استخدامات البخارعالي الضغط حيث يتغلغل التاكل الى عمق عدة بلورات.ومن السبائك التي تتعرض لهذا النوع من التاكل هي(60 Cu40Zn)و(71Cu28Zn1Sn) وبراص الالمنيوم وبرونزيات السليكون.

و- تاكل التشقق الاجهادي (stress corrosion cracking)

ويحدث في الغالب بين الحبيبات(Intergranular) وفي بعض الاحيان يكون تاكل ضمن الحبيبات (Trans granular corrosion). ويحصل هذا النوع فقط في حالة كون السبيكة معرضة لاوساط كيميائية مؤثرة مع اجهادات شدية سواء كانت داخلية (Internal) او خارجية (Applied Stresses).

وتعتبر الامونيا، ومشتقاتها اهم المواد المؤثرة في تاكل التشقق الاجهادي او التشقق الاني (Season cracking) لسبائك النحاس، وفي بعض الاحيان تكون هذه المركبات موجودة في الجو بحالة نقية كغاز الامونيا او في بعض المواد الكيميائية المستخدمة لمعالجة المراجل،على سبيل المثال، ويتطلب ذلك وجود الاوكسجين والرطوبة لتكون هذه المركبات فعالة في حدوث التاكل في سبائك النحاس. اما المركبات الاخرى كثاني اوكسيد الكاربون فوجوده من العوامل المساعدة على التاكل مع هذه المركبات. اما الرطوبة الموجودة على سطح السبيكة فتعمل على تحليل جزء من بخار او غاز الامونيا حتى الموجود في الجو(المحيط) ليصبح اكثر تاثيرا.

تعتبر الاوساط الكيميائية المعينة حتى التي في الجو والاجهادات الداخلية الشدية في السبيكة من اهم الاسباب المؤدية الى هذا النوع من التاكل. وتؤثرالبنية الدقيقة (microstructure) للسبيكة ومكوناتها على معدل التاكل. ويمكن تجنب حصول هذا النوع من التاكل عن طريق اختيارالسبيكة الملائمة وطريقة التشكيل والمعالجات الحرارية والتحسينات الانهائية لسطح المنتج.

مصادر الاجهادات: تتكون الاجهادات الداخلية في السبيكة بسبب العمليات الانتاجية التي تجرى عليها كعمليات التشكيل والتشغيل واللحام وغيرها والتي تسبب الاجهادات المتخلفة (Residual Stresses). وتكون على نوعين اما شدية (Tensile Stresses) وهي بدورها اما ان تكون شاملة كما في بعض العمليات الانتاجية او موضعية بسبب عمليات اللحام على سبيل المثال، اما النوع الاخرفهي الاجهادات التضاغطية (Compressive Stresses) و تكون مفيدة في كثير من التطبيقات كما في عملية قذف السطح بالكريات الصلدة (Shot Peening) لتوليد اجهادات تضاعظية عليه. اما الاجهادات الشدية المتخلفة في الانابيب المسحوبة بسبب تاثير زاوية القالب ونسبة التخفيض المنفذة على المعدن فلها تاثيركبيرفي حصول التاكل. فعند استخدام زاوية قالب اكبر تكون الاجهادات الشدية المتخلفة اعلى وبالتالي تاكل اسرع. اما بالنسبة

لمقدار التخفيض في السمك فان نسبة التخفيض (الاختزال) القليلة تسبب إجهادات ذات تاثير اكبر لكونها تكون على سطح المعدن في معظمها وليس في الطبقات الداخلية له.

مكونات السبيكة: يمتلك البراص الذي يحتوي على نسبة خارصين اقل من 15% مقاومة عالية لتاكل التشقق الاني(الاجهادي).كما ان النحاس الحاوي على الفسفوره مقاومة للتاكل عالية بصورة عامة. وتكون مقاومة التاكل للسبيكة الحاوية على (20-40%) من الخارصين قليلة وتقل تدريجيا كلما زادت نسبة الخارصين حتى الوصول الى% 40. وليس هناك اية دلالة على ان اضافة بعض العناصر الاخرى تؤدي الى تقليل مقاومة البراص للتاكل. في حين يُعتقد ان وجود بعض العناصر كالفسفور والزرنيخ والمغنيسيوم والقصدير والبريليوم والمنغنيز يزيد من مقاومة السبيكة للتاكل. كما ان من المعلوم ان اضافة السليكون بنسبة (1. 5%) يقلل من احتمال حدوث التشققات الاجهادية.

طريقة السيطرة على التاكل: تتم السيطرة على او اعاقة حدوث التاكل باسلوب التشقق الاجهادي بما يأتي:

1- استخدام السبائك التي لها مقاومة عالية للتاكل، وخاصة تلك التي تحتوي على اقل من 15% من الخارصين.
2- محاولة تقليل الاجهادات الشدية المتخلفة بطريقة المعالجة الحرارية وبدون التاثير الواضح على الخواص المكانيكية.
3- تغيير المحيط (الوسط) الفعال للتقليل من وجود المركبات الكيميائية المسببة للتاكل.

ز- التاكل الكلالي (Corrosion fatigue):

ويظهر هذا النوع من التاكل، عادة النوع النقري، نتيجة لوجود اجهادات دورية (Cyclic Stresses)على السبيكة وتزداد الحالة سوءا عند ظهور التشققات، بعد التنقر، بسبب الكلال الذي يؤدي الى فشل (Failure) الجزء بزمن اقصر، لان وجود التنقرمع الاجهادات الدورية (المتغيرة) يزيد من سرعة ظهور التشقق (التاكل الكلالي) اكثرمن الاجهادات لوحدها، اي ان هناك سببان يتعاضدان لافشال الجزء المعدني. ومن

الجديربالذكر ان النقر التي تظهر تعتبرمناطق تركيز للاجهادات ولهذا يعقب هـذه المرحلـة ظهور التشققات.

اذن يبدا فشل التاكل الكلالي من التشققات العديدة الـتي تنـشا مـن التنقـر والـتي يصعب رؤيتها بالعين المجردة او التكبير القليل في البداية. ويمكن رؤيتها اما بمعاملة المنطقة كيميائيا (الاظهار) او اجراء فحص الشد للجزء او بوساطة الفحـص بالتيـارات الدوامـة (Eddy Currents) ويحدث هذا التاكل في مجمل البلورة (Grain)عادة.

يبدي النحاس وسبائكه مقاومـة جيـدة للتاكـل الكلالـي، وهـذا مـا اثبتتـه نتـائج التطبيقات العملية التي تحدث فيها اجهادات متغيرة في وسط معادي للمعدن. ولذلك فان النوابض والمفاتيح والحواجزوانابيب الزيت و أنابيب المكثفات والمبادلات الحرارية تكـون من السبائك ذات المقاومـة العاليـة للتاكـل الكلالـي وتـشمل نحـاس - بريليـوم وبرونـز الفسفور و برونزالالمنيوم ونحاس- نيكل.

10- 2- 2 تاثير التكوين الكيميائي للسبيكة

فيما ياتي استعراضا لمجاميع السبائك النحاسية من حيـث تـاثيرالتكوين الكيميـائي على مقاومة التاكل:

أ- البراص

يقاوم البراص التاكل في المحاليل المائية حتى نسبة 15% خارصـين وتحـدث عمليـة انتزاع الخارصين لنسبة اعلى من ذلك في المحاليـل الملحيـة والميـاه. وللمحاليـل الحامـضية المعتدلة تـاثيركبيرعلى زيـادة معـدل انتـزاع الخارصـين، كمـا ان وجـود بعـض العناصـر كالرصاص او البريليوم او الكروم او الفسفوراو المنغنيـزلا يـؤثر بـصورة ملحوظـة علـى مقاومة التاكل للنحاس والبراص حيـث تـضاف هـذه العناصرلتحـسين بعـض خـواص السبيكة.

ب-البراص الحاوي على القصدير

ان اضافة القصديرلبعض انواع البراص يزيد من مقاومة التاكل وخصوصا مقاومة انتـزاع الخارصـين، ومـن جملةهـذه الـسبائك سـبيكة (71Cu28Zn1Sn)وسـبيكة

(60Cu39.2Zn0.8Sn). حيث تستخدم السبيكة الاولى في انابيب المبادلات الحرارية اما الثانية فلها استخدامات عديدة اخرى.

ج- براص الالمنيوم:

تتكون طبقة رقيقة من اوكسيد الالمنيوم(Al_2O_3)على سطح البراص المحتوى على الامنيوم وتمتاز هذه الطبقة بقوة التصاقها بالمعدن الاساس وصلادتها العالية ولذلك فهي تحمي البراص من التاكل بصورة عامة، وكذلك الحال عند تاكل- التعرية(Erosion Corrosion) والذي ينتج عن ارتطام المائع وخاصة عند الجريان المضطرب (Turbulent) او عند وجود دقائق صلدة فيه. ولذلك فهي تستخدم في كثير من التطبيقات سواء في المياه العذبة او ماء البحر. فعلى سبيل المثال تستخدم السبيكة (76Cu22Zn2Al) في انابيب المبادلات الحرارية البحرية ودافعات السفن(Ship propellers) الا ان هذه السبيكة سريعة التأثر بظاهرة انتزاع الخارصين مالم يضاف اليها قليل من الزرنيخ وبنسبة تتراوح بين(0.02-0.1%).

د- برونز الفسفور:

ان اضافة القصدير والفسفور الى النحاس تولد مقاومة جيدة للتاكل الناتج من جريان ماء البحروالحوامض غيرالمؤكسدة، عدا حامض الهيدروكلوريك، والسبائك التي تحتوي على (8-10%) قصدير تمتلك مقاومة عالية لتاكل التعرية، الا ان سبيكة برونز الفسفور اقل تأثرا للتاكل بالتشققات الاجهادية(Stress Corrosion Cracking)، والتي تدعى في بعض الاحيان التشققات الفصلية (Season Cracking)، من سبيكة البراص.

هـ- سبيكة نحاس-نيكل:

تمتلك سبيكة(CuNi30) مقاومة تاكل في الماء اعلى، بصورة عامة، من جميع سبائك النحاس التجارية، الا ان سبيكة (CuNi10)هي التي يتم اختيارها لكونها ذات مقاومة جيدة وكلفة اقل. ان كلا السبيكتين وبالرغم من ملاءمتها للاستخدامات في الصناعات الكيميائية فقد استخدمتا ايضا في انابيب المكثفات والمبادلات الحرارية في

المكائن البخارية. وهي افضل من النحاس او سبائكه الاخرى في مقاومتها للمحاليل الحامضية ومقاومتها لتاكل التشققات الاجهادية وتاكل التعرية.

و- سبيكة براص نيكل(الفضة الالمانية):-

تمتلك السبيكتان واسعتا الانتشار من هذا النوع، وهما(65Cu18Ni17Zn) و(55Cu27Zn18Ni)، مقاومة جيدة للتاكل في المياه العذبة والمالحة لاحتوائها على النيكل الذي يحد من ظاهرة انتزاع الخارصين. وتعتبر السبيكتان افضل من سبيكة البراص التي تحتوي على نفس نسبة النحاس بالنسبة لمقاومة التاكل في المياه المالحة.

ز- سبيكة النحاس سليكون:-

تمتلك هذه السبيكة، بصورة عامة، نفس مقاومة التاكل للنحاس. الا ان خواصها الميكانيكية اعلى وقابليتها على اللحام افضل. وقد ظهرت هذه السبائك كبديل عن البراص لمقاومتها الافضل لتشققات التاكل الاجهادي. وتعتبر سبيكة برونز الفسفور شديدة التاثر(الميل) للهشاشية (Embrittlement) بالبخارعالي الضغط ولذا يجب اختبارها في الوسط المطلوب قبل إستخدامها ضمن مدى درجات الحرارة المعينة.

ح- سبيكة برونز الالمنيوم:-

تمتلك هذه السبيكة والتي تحتوي على(12-5%) المنيوم مقاومة ممتازة لتاكل التعرية وللاكسدة عند درجات الحرارة العالية. وتستخدم هذه السبيكة في بعض القضبان والشفرات في مكائن تشغيل الخشب وذلك لكونها مناسبة لتحمل الاحتكاك و التاكل بالمحاليل الكبريتيدية.

تعزى مقاومة التاكل في سبيكة برونز الالمنيوم الى وجود معدن الالمنيوم وحتى بلوغ نسبة الالمنيوم 8% فان بنية السبيكة الدقيقة تكون احادية الطور(α-phase) وعندئذ تبدي مقاومة جيدة للتاكل. ومن جملة مجموعة هذه السبائك هي المحتوية على 5%Al و 8%Al و (0.3%Sn2.7%Fe7%Al) و(2%Fe7%AL) والمتبقي فيها هو النحاس. وكلما زادت نسبة الالمنيوم اكثرمن 8 % فان البنية المجهرية تكون ذات طورين(α، β) حيث يكون طور بيتا(β) اقل مقاومة للتاكل من الطور الفا (α)، كما ان البنية

اليوتكتويدية(Eutectoid Structure) اكثرعرضة للتاكل. تتكون البنية اليوتكتويدية عند التبريد البطيء او عند تسخين السبيكة المخمدة (المبردة بسرعة) ببطىء الى (565 °C) فيتحلل الطورβ الى $(\alpha+\gamma_2)$ لتكوين بنية يوتكتويدية.

ان طور بيتا والبنية الاساسية في سبيكة برونز الالمنيوم يمكن ان تتاكل بطريقة مشابهة لعملية انتزاع الخارصين في البراص اعتمادا على حالة الوسط ونوعه. يمكن استخدام معاملات حرارية ملائمة للسبائك المزدوجة الطور كما في (86Cu11Al 3Fe) و(85Cu11Al 4Fe) للحصول على بنية تحتوي على طور بيتا اللين نسبيا مع بلورات الطورالفا الابرية وهذه البنية تمتلك مقاومة تاكل افضل من السبيكة الملدنة.

تعتبر سبيكة برونز الالمنيوم من السبائك المعقدة البنية عند الطوركاما (γ) حيث قد تحتوي على عناصر سبيكية اخرى كالحديد والنيكل والمنغنيزواحيانا السليكون. وعندئذ تتحول الية التاكل الى الية انتزاع بعض المكونات وتاكل التعرية في اغلب السوائل. تعتبر هذه السبيكة بصورة عامة ملائمة للاستخدام في الحوامض غير المؤكسدة كحامض الفسفوريك والهيدروكلوريك والحوامض العضوية وكذلك في المحاليل الملحية المعتدلة الملوحة ككلوريد البوتاسيوم والصوديوم والقلويات (Alkalines) كهيدروكسيد الصوديوم وهيدروكسيد البوتاسيوم و المياه الطبيعية. اما الاوساط التي لاتستخدم فيها هذه السبيكة فهي حامض النتريك وبعض الاملاح المعدنية ككلوريد الحديد وحامض الكروميك والامونيا الرطبة والتي تسبب تاكل التشقق الاني عند تعرض السبيكة لاجهادات شدية.

10- 2- 3 طلاء الحماية(الوقاية) protection coating

يقاوم النحاس التاكل في معظم الاوساط بسبب التفاعل عند بداية التعرض مع واحد او اكثر من محتويات الوسط والذي يكوّن طبقة خاملة مانعة للتفاعل الاضافي مع الوسط. تزداد مقاومة النحاس، في بعض التطبيقات، عند اجراء الحماية بالطلاء العضوي او المعدني حيث يمنح معدن الطلاء، على سبيل المثال، مقاومة اعلى للتاكل. وتعتمد

زيادة عمر الاستخدام على مدى تماسك طبقة الطلاء مع المعدن الاساس وتماميتها (Soundness).

ان لقيمة الجهد الكهربائي اثناء عملية الطلاء المعدني اهمية كبيرة على خواص طبقة الطلاء. وتستخدم بصورة عامة سبيكة لحام الكاوية (Soldering alloy) والقصدير والرصاص كمعادن طلاء بوساطة عملية الطلاء الكهربائي او بطريقة الغطس الحار(Hot dipping). ويعطي طلاء النحاس بالقصديرمقاومة تاكل عالية في المحاليل الكبريتيدية وخاصة في طلاء الاسلاك النحاسية والقابلوات (Cables) المعزولة بالمطاط الذي يحتوي على الكبريت. اما الطلاء بالرصاص فيستخدم بصورة عامة في عملية التسقيف بالنحاس والتي هي على تماس عادة مع غازات المداخن او المنتجات الاخرى التي تحتوي على نسبة ولو قليلة من حامض الكبريتيك. ويستخدم الطلاء بالقصدير او الرصاص للحماية الاضافية للنحاس المعرض للجو الاعتيادي.

وكذلك يستخدم الطلاء الكهربائي للنحاس بالكروم لغايات عدة كالتزيين والديكور وتحسين مقاومته للبلي (Wear Resistance) الا ان هذا الطلاء غير فعال للحماية من التاكل بسبب مساميته النسبية. الا انه يستخدم في العادة الطلاء بالنيكل اولا كطبقة حماية تحت طبقة طلاء الكروم.

يستخدم في بعض الاحيان محلول الشيلاك (أي الطلاء بالّـك) الجيد لتكوين طبقة رقيقة شفافة للمحافظة على لون السبيكة الطبيعي لاغراض الديكور والعمارة.

الفصل الحادي عشر

وصل النحاس وسبائكه

Joining of Copper and Its Alloys

الفصل الحادي عشر

وصل النحاس وسبائكة

Joining of Copper and Its Alloys

المقدمة:

يمتلك النحاس وسبائكه مجموعة من الخواص الفريدة من نوعها. ومن بين تلك الخواص الاكثر اهمية هي التوصيلية الكهربائية والحرارية والمقاومة (Strength) ومقاومة التاكل. اما الخواص المفيدة الاخرى فهي مقاومة الشرارة (Spark resistance) ومقاومة البلي (wear resistance) وصفته اللامغناطيسية او خواص السماحية (المنفذية) المغناطيسية الواطئة (Low-Permeability Properties) ولونه الجذاب.

يُوصَل النحاس خلال عمليات التصنيع عادة باللحام (welding) وتقنية لحام القوس الكهربائي هي الاكثر اهمية من بين عمليات اللحام المستخدمة. يمكن ان ينجزلحام القوس الكهربائي بتقنية لحام قوس المعدن المغلف (Shielded Metal Arc Welding) (SMAW) ولحام قوس التنكستن الغازي (Gas Tungsten Arc Welding) (GTAW) ومن ضمنها تقنية التيار النبضي ولحام القوس المعدني (Gas Metal Arc Welding) (GMAW) ومن ضمنها تقنيتي التيارالنبضي والسلك الدقيق (Fine wire mode) ولحام قوس البلازما (Plasma Arc Welding) (PAW) ولحام القوس المغمور(Submerged Arc Welding) (SAW). والعوامل الحاكمة (المسيطرة) لكل هذه العمليات في جودة اللحامية هي التوصيلية الحرارية ونوع السبيكة بالنسبة لمدى التصلب (Solidification range) ودرجة انصهار مكوناتها.

يمكن تصنيف النحاس بصورة تقريبية الى مجموعتين هما:

1- النحاس الحاوي على الاوكسجين.

2- النحاس الخالي من الاوكسجين اومنتزع الاوكسجين

ان عملية الوصل الانـصهاري للنحـاس الحـاوي علـى اوكـسجين صـعبة، حيـث تتركزالاطواراليوتكتيكية، المتكونة من النحاس واوكسيده، عند الحدود البلورية لتـنخفض بذلك الخواص الميكانيكية ومقاومة التاكل بـصورة واضـحة. يتناسـب مـدى التـدهورفي الخواص بصورة مباشرة مع الحرارة الداخلة للعملية المستخدمة. فعلى سبيل المثـال، فـان عملية لحام الاوكسي استيلين ذات حرارة داخلة عالية في العادة تنتج هشاشية شديدة. في حين تختزل عمليات القوس المغلف بالغازالخامل الحرارة في منطقة (حوض) اللحام ومن ثم تقلل الهشاشية.

فعندما تتطلب التطبيقات خواص ميكانيكية ومقاومة تاكل جيـدة فيجـب عندئـذ اختيارصفائح نحاس خالي من الاوكسجين اومنتزع الاوكسجين(Deoxidized) ومن ثـم تلحم بوساطة عملية القوس الكهربائي.

11- 1 اختيار عملية اللحام:

يجب ان يتم اختيار عملية اللحام لتفي بمتطلبات التطبيق المحدد وفق الاسس الاتية:

1- الشكل الهندسي لوصلة اللحام.

2- عدد وصلات اللحام المـراد عملـها. فيجـب ان يراعـى نـوع المنـتج المكـرر تصنيعه والادوات والمثبتات كجزء من العمليـة وكـذلك الـشكل الهندسـي للوصلة، وفيما اذا كانت تتضمن عملية انصهارفعندئذ تحبذ عملية التغليـف (الاحاطة) بالغاز الخامل. اما عندما تكون خـواص وصـلة اللحـام ليـست حرجة (ضيقة) فيكون اللحـام بالاوكـسي اسـتيلين ملائمـا تمامـا وخاصـة بالنسبة للمقاطع الخفيفة.

3- سماكة (سمك) المقاطع المراد لحامها. فيستخدم بصورة عامة لحام الاوكسي اسـيتيلين(Oxyacetylene) اوقـوس التنكـستن الغـازي(Gas-Tungsten-Arc) عنـدما يكـون الـسمك 1/4in (6.25mm) اواقـل مـن ذلـك. امـا للسماكات الكبيرة فيستخدم لحام قوس المعدن الغازي (Gas-Metal-Arc-Welding).

4- المكان او الوضعية. فاذا امكن وضع القطعة بكيفية بحيث تكون اليد عند اللحام الى الاسفل فعندها يفضل استخدام عملية القوس المغلف بالغاز مع ما يناسب ذلك من مثبتات (Fixtures). اما اذا كان وضع الوصلة المراد لحامها فوق الراس (Overhead Position) فيفضل عندئذ لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) وفي السنين المتاخرة لوحظ ان لحام قوس التنكستن الغازي بمجهزطاقة (قدرة) نبضي (Pulsed-Power Supply) قد اعطى نتائج جيدة في حالة الوضع العمودي ولكن من الصعوبة تكوين عقد لحام (Weld Beads) جيدة عند الوضع فوق الرأس.

11- 2 **التثبيت** Fixation:-

تكون مشكلة التشويه الحراري في النحاس اكبر مما هي عليه في الفولاذ (Steel) لان معامل التمدد الحراري للنحاس بحدود 1.5ضعف اكبر مما في الفولاذ. فعند المقارنة في لحام الدرز(المستمر) (Seam Welding) القصير لمقطع خفيف فيجب ان تكون مثبتات نوع الملزمة (Clamping-Type) ملائمة لذلك. اما عند لحام الدرز للمقاطع السميكة نسبيا (كما في حالة لحام الدرزالطويل للاوعية الكبيرة) فيجب اخذ الاحتياطات لمنع التشوه المفرط.

وهناك وسيلة اخرى للمحافظة على الإستقامة وفواصل الجذر(Root gaps) وهي الملزمات الاسنينية والتي تستخدم بصورة عامة في المراجل البخارية. تزال الملزمات واحدة بعد الاخرى بتقدم اللحام. اما التقنية الاخرى فهي الابتداء باللحام عند 1/4 أو 1/3من الانج من احد النهايات ثم اللحام حتى النهاية البعيدة ومن ثم لحام الجزء المتبقي وابتداءا من نفس النقطة. وفي حالة اللحام المتكـــــــرر التمريرات (Multi-Pass Joint) فيجب ان تكون تمريرة الجذر (Root Pass) كبيرة وتامة.لأن تمريرة الجذر الخفيفة قد تنكسر خاصة في حالة لحام النحاس الحاوي على الاوكسجين.

طرائق الاسناد الخلفي (الظهارة) Backing Methods:-

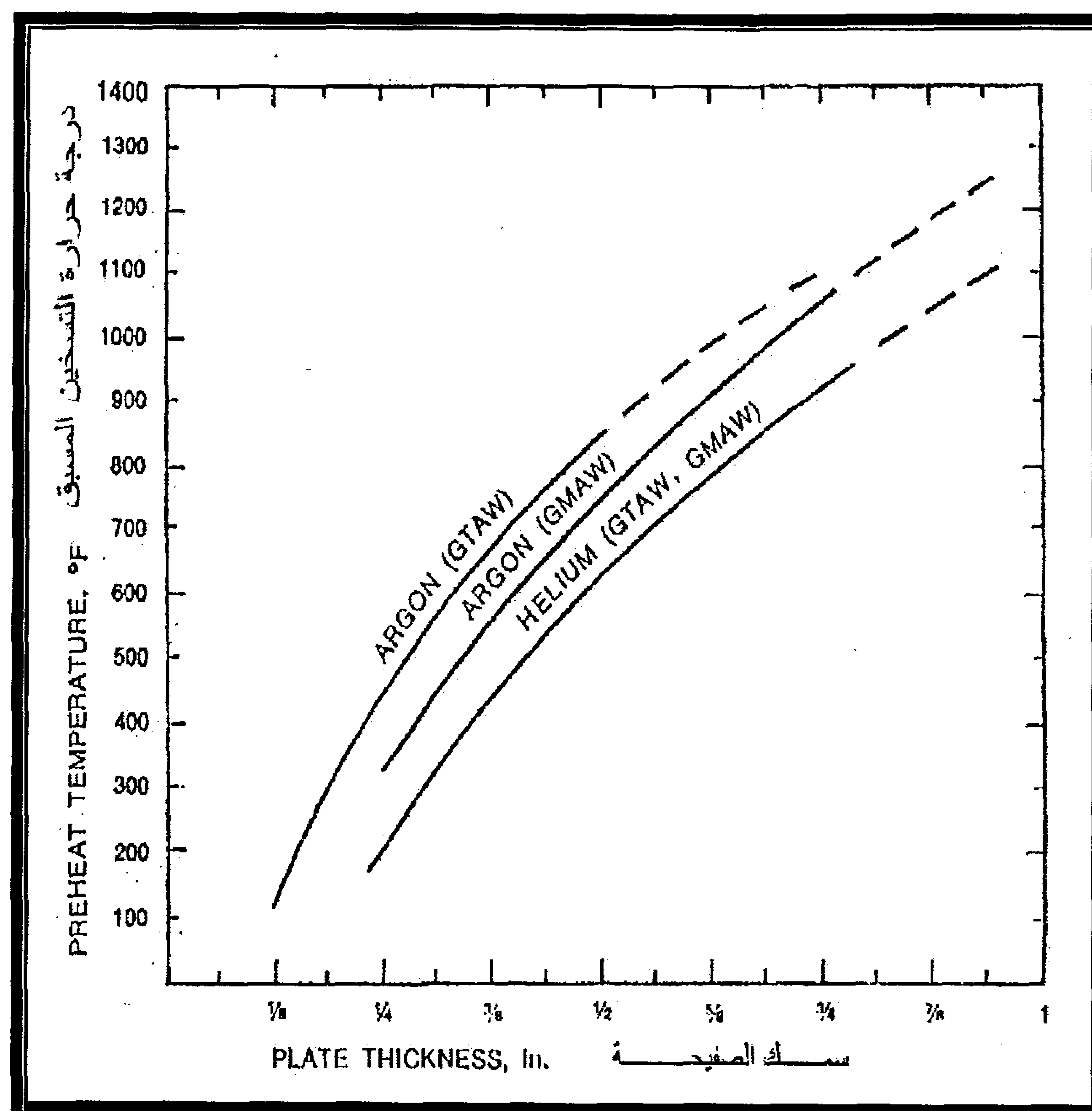
تكون معظم قضبان الظهاره، الممكن ازالتها، من النحاس او الكاربون والمحفورة كما ينبغي. ويمكن ايضا استخدام الفولاذ المطيل (Mild Steel) او الفولاذ المقاوم للصدا(Stainless Steel) اذا وُجد حاجز ملائم عند انصهار النحاس كطبقة من الاسبست او طلاء سيراميكي.

وعندما لايكون هناك مجال للوصول الى خلف منطقة الوصل بعد عملية اللحام فقد تستخدم في بعض الاحيان قضبان ظِهارة متكاملة لضمان تغلغل جذري كامل. واذا لم يمكن السماح بذلك فيستخدم في العادة لحام قوس التنكستن الغازي(GTAW) لتمريرة لحام الجذر، باستخدام تقنية ثقب المفتاح (Key Hole). وهذا يتطلب فجوة جذرمقدارها حوالي 1/4 in ومهارة معتد بها من قبل الشخص اللاحم. ويجب ان يحافظ اللاحم على فتحة بين حافتي الجذر المتاخمة عابرا الفجوة خلف الفتحة بقضيب الحشو حيث يتم عندئذ ضمان التغلغل الكامل.

لايفضل اكثر المصنعين إستخدام قضيب الظهارة عندما يمكن تجنبه. وكثيرا ما تستخدم تقنية وضع الوصلة بصورة عمودية ويتم اللحام بصورة آنية من الجهتين ومن قبل لحّامين اثنين.

11- 3 التسخين المسبق Preheating :-

يخمن، دائما، المصنعون الذين ليس لديهم خبرة في لحام النحاس مقدار التسخين المسبق بأقل مما ينبغي لغرض الانصهار الكامل والتغلغل الجيد خصوصا في وصل المقاطع الثقيلة، لاحظ الشكل (11-1) كدليل عملي لذلك.



الشكل(11-1)

درجة حرارة التسخين المسبق الملائمة لسماكات مختلفة عند استخدام تقنية قوس الغازالخامل في لحام النحاس.

يجب اخذ الحيطة لتسخين منطقة اللحام بصورة منتظمة والحفاظ على درجة الحرارة حتى تكتمل عملية اللحام. يجب تخفيض تسرب الحرارة الى الحد الادنى مع امكان استخدام أغلفة عوازل اسبستية اضافة الى بطانة اسبستية على المثبتات ايضا.

ان التيارات المفرطة في الارتفاع لاتعوض التسخين المسبق الملائم. وبدلا عن ذلك تؤدي الى حدوث اخاديد وسطح عقدي رديء وعادة ما يعطل التغليف الغازي مما يؤدي الى مسامية واكتنافات (Inclusions) أوكسيدية.

11- 4 **المواد الصهورة (المساعدة على الانصهار) Fluxes :-**

تضاف هذه المواد بالدرجة الاساس في حالة اللحام بالاوكسي استيلين وذلك لتقليل الميل لتكوين الاكتنافات الاوكسيدية الغريبة. وهي في العادة متكونة من خليط من البوريدات والكلوريدات والفلوريدات...الخ وهي ذات تاثير مختلف. وتضاف بشكل معجون على منطقة الوصل قبل البدء بعملية اللحام وبينما يتواصل اللحام تتم الاضافات بصورة دورية وذلك بغمس نهاية قضيب معدن الحشو في المادة الصهورة. تكون المواد الصهورة شديدة التاكل للمعدن ولذلك فمن الضروري ازالة جميع ما يتبقى منها على منطقة اللحام بعد اكمال العملية وبصورة جيدة. وتستخدم المواد الصهورة في بعض الاحيان للاستفادة منها في لحام القوس المعدني الغازي (GMAW) عندما يكون التسخين المسبق غير ملائم لسبب او اخر. تجرى عملية اللحام التناكبي التام (الخالية من العيوب) ذات التمريرات المتعددة (Multi-pass) للنحاس المنتزع الاوكسجين سمك (2 in) عند تسخين مسبق في درجات حرارة اقل من 1000 °F (540 °C) وبرش المادة الصهورة الجافة وفي منطقة الوصل امام (قدّام) القوس الكهربائي المتكون. وفي حالة عدم استخدام الصهور فسوف لا يتم انصهار بعض المناطق انصهارا كاملا.

يتضمن الجدول(11-1) معظم انواع النحاس وسبائكه والتي تلحم غالبا بتقنية القوس الكهربائي.كما يعطي الجدول ايضا رقم السبيكة باستخدام نظام الترقيم

الموحد(Unified Numbering System) (UNS) والتكوين الكيميائي العام ودرجة انصهارها والتوصيلية الحرارية النسبية وقابليتها النسبيةعلى اللحام عند استخدام احدى التقنيات الاتية SMAWأوGMAW أوGTAW.

ان تقنية لحام قوس التنكستن الغازي هي الاكثراستخداما من جميع طرائق لحام القوس الأخرى لوصل النحاس وسبائكه. وتتميز بشدة الحرارة الموضعية الداخلة والتي تلزم بصورة خاصة للسبائك ذات التوصيلية الحرارية العالية وكذلك إمكانية السيطرة الجيدة اضافة الى سهولة اتمتتها (Automation). اما الطريقة المباينة لها اي لحام قوس البلازما (Plasma Arc Welding) (PAW) فتستخدم عندما يكون عمر الطرف او النهاية المستدقة من قطب اللحام شيء مطلوب، كما في حالة العمليات المؤتمتة. ويمكن لحام المقاطع الى حد (1/2in) بطريقة (GTAW) الا ان معدل السمك بصورة عامة هو (1/8in). وعند لحام مقاطع خفيفة، حيث تكون الحرارة الداخلة امرحرج، فقد يمكن استخدام اسلوب التيار النبضي. اما المقاطع الاكبر من (1/2in) فان الطريقة المفضلة هي (GMAW) حيث تمتازبالحرارة الداخلة ومعدل ترسيب لحام عاليين. اماعند الاستخدام في الاماكن الخارجية فيفضل استخدام لحام قوس المعدن الغازي النبضي.

جدول(11-1): التكوين الكيميائي العام ودرجة حرارة الانصهار والتوصيلية الحرارية النسبية وقابلية اللحام للنحاس وسبائكه المشكلة(Wrought) والتي تلحم بصورة عامة بالقوس الكهربائي.

رقم السبيكة حسب UNS واسمها	التكوين الكيميائي العام	درجة الانصهار (°F)	التوصيلية (a) الحرارية النسبية	اللحامية (b)		
				GTAW	GMAW	SMAW
(OFC)النحاس الخالي من الاوكسجين و(ETP) النحاس المنقى الالكتروليتيا المتين						
C10200 نحاس خالي من الاوكسجين (OFC)	99.95Cu	1981	100	G	G	NR
C11000 نحاس نقي الكتروليتي(ETP) النحاس منتزع الاوكسجين	99.90Cu ،0.04O_2	1981	100	F	F	NR
C12000 نحاس واطيء الفسفور منتزع الاوكسجين	99.9Cu ،0.008P	1981	99	E	E	NR
C12000 نحاس عالي الفسفور منتزع الاوكسجين	99.9Cu ،0.02P	1981	87	E	E	NR
نحاسيات البريليوم						
C17500 نحاس- بريليوم عالي التوصيلية	96.9Cu ،0.6Be ، 2.5Co	1955	53-66©	F	F	F
C17000 نحاس- بريليوم عالي المقاومة	98.3Cu ،1.7Be	1800	27-33©	G	G	G
C17200 نحاس- بريليوم عالي المقاومة	98.1Cu ،1.9Be	1800	27-33©	G	G	G

براس منخفض الخارصين						
C21000 الذهبي 95%	95Cu ،5Zn	1950	60	G	G	NR
C22000 البرونز التجاري 90%	90Cu ،10Zn	1910	48	G	G	NR
C23000 البراس الاحمر 85%	85Cu ،15Zn	1880	41	G	G	NR
C24000 البراس المنخفض 80%	80Cu ،20Zn	1830	36	G	G	NR
براس عالي الخارصين						
C26000 براس الخراطيش 70%	70Cu-30Zn	1750	31	F	F	NR
C26800 البراس الاصفر 66%	65Cu-35Zn	1710	30	F	F	NR
C28000 معدن مونتز 60%	60Cu-40Zn	1660	31	F	F	NR
براس القصدير						
C44300 البراس الاميري	71Cu ،28Zn ،1Sn(d)	1720	28	F	F	NR
C46400 البراس البحري	60Cu ،39.25Zn ،0.75Sn(d)	1650	30	F	F	NR
البراس الخاص						
C67500 برونز المنغنيز A	58.5Cu ،39Zn ،1.4Fe ،1Sn ، 0.1Mn	1630	27	F	F	NR
C68700 براس الالمنيوم الزرنيخي	77.5Cu ،20.5Zn ،2Al(0.06As)	1780	26	F	F	NR
فضيات النيكل						
C74500 فضيات النيكل 65-10	65Cu ،25Zn ،10Ni	1870	12	F	F	NR
C75200 فضيات النيكل 65-18	65Cu ،17Zn ،18Ni	2030	8	F	F	NR
C75400 فضيات النيكل 65-15	65Cu ،20Zn ،15Ni	1970	9	F	F	NR
C75700 فضيات النيكل 65-12	65Cu ،23Zn ،12Ni	1900	10	F	F	NR
C77000 فضيات النيكل 55-18	55Cu ،27Zn ،18Ni	1930	8	F	F	NR
برونزيات الفسفور						

C50500برونزالفسفور E %25. 1	98.7Cu ،1.3Sn(0.2P)	1970	53	G	G	F
C51000برونزالفسفورA %5	95Cu ،5Sn(0.2P)	1920	18	G	G	F
C52100برونز الفسفورC %8	92Cu ،8Sn(0.2p)	1880	16	G	G	F
C52400برونزالفسفورD %10	90Cu ،10Sn(0.2P)	1830	13	G	G	F
برونزيات الالنيوم						
C61300برونزالالنيـــــــوم D،Sn مثبت)	89Cu ،7Al ،3.5Fe(0.35Sn)	1915	14	G	E	G
C61400برونز الالنيومD	91Cu ،6-8Al ،1.5-3.5Fe ،1max.Mn	1915	17	G	E	G
C63000برونزالالنيوم E	82Cu ،10Al ،5Ni ،3Fe	1930	10	G	G	G
برونزيات السليكون						
C65100برونزواطيءالسليكونB	98.5Cu ،1.5Si	1940	15	E	E	F
C65500برونزعالي السليكونA	97Cu ،3Si	1880	9	E	E	F
سبائك النحاس نيكل						
C70600نحاس نيكل%10	88.6Cu ،9.11Ni ،1.4Fe ،1.0Mn	2100	12	E	E	G
C71500 نحاس نيكل%30	70Cu ،30Ni	2260	8	E	E	E

(A) اعتمادا على التوصيلية الحرارية للسبيكة C10200 ($226Btu/ft^2$ بالقـدم لكـل سـاعةعند68°F)

وتعتبر% 100. وعند المقارنة مع الفولاذ الكاربوني الذي له $30Btu/ft^2$بالقدم لكل ساعة عند 68°F والتي تكون 30 في هذا المقياس.

(b) E= ممتـاز(excelient)، G= جيـد(good)، F= مقبـول(fair)، NR=لايوصـى بهـا(Not Recommended) ، © في حالة مصلدة بالترسيب

(d) السبيكة C44300وC46500 تحتويان على حوالي 0.06%Asاما السبائك C44400وC46600 فتحتويـان علـى حـوالي 0.06%Sbوالـسبيكتين C44500 وC46700 فتختويـان علـى حـــوالي0.06% P .0.

لا زالت تقنية لحام المعدن المغلف، والـتي تعتـبرمن اقـدم عمليـات لحـام القـوس، تستخدم وبصورة واسعة بسبب بساطتها، وتعدد خواصـها وقابليـة الوصـول الى منـاطق الوصل التي يصعب الوصول اليها في غيرها وامكانية حركة المعدات وتوفيرسبيكة القطب (قضيب اللحام). لكن كلفة العمل بصورة عامة اعلى من تقنية لحام قوس المعدن الغازي (GMAW) حيث تكون السرعة في الأخيرة أعلى بمعدل أربعة أضعاف. و تفـضل تقنيـة (GMAW) عند لحام النحاس عـالي التوصـيلية حتـى عنـد اسـتخدام التـسخين المـسبق (Preheating).

وسيتم لاحقا مناقشة المحدوديات والاحترازات (الاحتياطات) الـضرورية لكـل عملية في هذا الفصل. وبسبب انخفاض مقاومة وصلة اللحـام وتكـون الاكاسـيد وتبخـر بعض العناصرالتي تصاحب لحام القوس عادة يـتم لـذلك اختيارلحـام المونـة (التـبريص) (Brazing) غالبا في وصل سبائك النحاس.

11- 5 تاثير عناصرالسبك على نوعية اللحام:-

لبعض عناصر السبك تاثير واضح على سلوك النحاس وسـبائكه عنـد اللحـام. فكميات قليلة من عناصر السبك السامة والمتطـايرة تتواجـد عـادة في النحـاس وسـبائكه وبناءً على ذلك فاسـتخدام نظـام تهويـة فعـال لحمايـة اللـّحامين (Welders)ومـشغلي مكائن اللحام وسحب الغبار والـدخان المتـصاعد والـضباب امرهـام جـدا واكثرالحاحـا وحاجة مما هو عليه في لحام المعادن الحديدية.

أ- مضافات تحسين التشغيل(منعمات الرايش اوالنحاتة):

تـضاف احيانـا بعــض العناصــر ذات درجــات الانــصهار الواطئــة مثــل الرصاص(Pb) والتيليريوم (Te) والكبريـت (S) الى سـبائك النحـاس لتحـسين قابليتهـا على التشغيل، كمـاتم ذكـره سـابقا، وهـذه الاضـافات تجعـل الـسبائك عرضـة للتـشقق الحار(Hot cracking) خلال عملية اللحام. ويبدا التاثير السلبي على اللحاميـة (القابليـة على اللحام) بصورة واضحة عند حوالي0.05wt% من المضاف ويكون التاثير اشد عنـد

المقادير الاكبرمن الاضافة. للرصاص التاثيرالاكثرضررا من بين عناصرالسبك بالنسبة للحامية السبائك ذات الاساس النحاسي. ان سبائك النحاس ممتازة التشغيل(التي تحتوي عادة من 0.5 الى 4wt% من الرصاص) لا تلحم عادة وهي ليست مدرجة في الجدول (11-1).

يخفّض الخارصين(Zn) من لحامية كل انواع البراص (النحاس الاصفر) وكذلك فضيات النيكل(وهي سبائك براص مضافا اليها نسبة معينة من النيكل) وحسب نسبة تواجد الخارصين فيها الى حد ما. تنبعث ابخرة سامة عند لحام سبائك النحاس-خارصين. ولذلك يصبح من الضروري استخدام اجهزة تهوية(Ventilation) ذات قدرة عالية وكفوءة اضافة الى نظام تكثيف واستعادة الدخان المتصاعد.

يزيد القصديرمن امكانية تعرض السبيكة للتشقق الحارخلال عملية اللحام بحوالي 1الى 10%كما في حالة برونزيات الفسفور والبراص القصديري ومن ثم تنخفض اللحامية(القابليةعلى اللحام). وبالمقارنة مع الخارصين، فان القصديراقل تطايرا واقل سمية بكثير. ويتاكسد القصديرتفضيليا (اكثرمن النحاس) خلال اللحام ومن ثم يمكن ان تنخفض مقاومة الملحومة بسبب انحصار الاوكسيد داخل منطقة اللحام. ويعتبر اوكسيد القصديرمن المواد الصهورة السهلة.

اما البريليوم(Be) والالمنيوم والنيكل فتكوّن اكاسيد شديدة الالتصاق مع سطح البراص ويجب ازالتها بالتنظيف قبل عملية اللحام. ويجب منع تكون الاكاسيد على سبائك النحاس المسخنة بواسطة التغليف الغازي او بالمواد الصهورة مع ملاحظة اختيارنوع تيار اللحام المناسب. ان مقدارتداخل اكاسيد النيكل مع لحام القوس اقل من تداخل اكاسيد البريليوم او الالمنيوم. لذلك تكون فضيات النيكل وسبائك النحاس – نيكل اقل حساسية لنوعية تيار اللحام المستخدم.

يمكن ان يسبب الاوكسجين كغاز او الموجود في اوكسيد النحاس مسامية تؤدي الى تخفيض مقاومة السبائك الملحومة التي لاتحتوي على فسفور او اي مختزِل (منتزع او مزيل للاوكسجين) اخربكمية كافية. تحتوي اغلب سبائك النحاس القابلة للحام على

عناصر مختزلة (عادة الفسفوراوالسليكون اوالالمنيوم او الحديد او المنغنيز) والتي تتحد مع الاوكسجين. تتضمن معادن الحشو(Filler Metals) عادة منتزعات الاوكسجين نفسها.

تعتمد تمامية (Soundness) ومقاومة ملحومات القوس للنحاس التجاري النقاوة على مقدار ما تحتويه من اوكسيد النحاس. فتزداد التمامية بانخفاض محتوى الاكاسيد. يتم الحصول على احسن النتائج في حالة النحاسيات المختزَلة (المزالة الاوكسجين) لانها خالية من اوكسيد النحاس وتتضمن بقايا الفسفور. وسيتم التطرق الى تاثيراوكسيد النحاس فيما بعد.

للسيلكون تاثير ايجابي على لحامية سبائك النحاس- سليكون وذلك لدوره في ازالة الاوكسجين اولا وكمادة صهورة ثانيا اضافة الى تاثيره في خفض التوصيلية الحرارية، كل ذلك جعل برونزيات السليكون هي الاكثر لحامية من بين سبائك النحاس الاخرى في عمليات لحام القوس.

اما الفسفور فلا يؤثر بصورة سلبية على اللحامية عند تواجده بالكميات الاعتيادية في سبائك النحاس. فهو مفيد لبعض انواع النحاس وسبائكه في رفع قيمة المقاومة وكعامل مختزِل(منتزع للاوكسجين). وعند اضافة الفسفور للبراص فانه يعيق عملية انتزاع الخارصين(Dezincification) منه.

اما وجود الكادميوم في النحاس (وحتى1.25%) فلا ينتج عنه اية مشكلة فعلية خلال عملية لحام القوس.الا انه يتبخرمن النحاس بسهولة نسبية عند درجة حرارة اللحام ولذلك يسبب خطرا شديدا على الصحة. وقد تتولد كميات قليلة من اوكسيد الكادميوم في معدن منطقة اللحام المنصهرالا انه يُزال بسهولة مع المواد الصهورة.

يتشابه الكروم مع البريليوم والالمنيوم في تكوين اكاسيد مقاومة للحرارة على سطح المعدن المنصهر في منطقة اللحام. لذلك يجب ان يستخدم جوٍ واقٍ فوق حوض (الجزء السائل من المعدن) منطقة اللحام عند اللحام بالقوس الكهربائي.

اما بالنسبة الى الحديد والمنغنيز، فالحديد الذي يتواجد في بعض الانواع الخاصة من البراص وبرونزيات الالمنيوم والنحاس- نيكل وبكميات تتراوح بين 1.4 الى3.5% فلا

يؤثر بصورة واضحة على لحامية هذه السبائك. وليس للمنغنيز الـذي يتواجـد في بعـض هذه السبائك وفي تراكيزاقل من الحديد، تاثيرملحوظ على اللحام.

11- 6 العوامل المؤثرة في اللحامية :-

اذا استثنينا تاثير العناصر التي تتضمنها السبيكة المحددة، فان العوامل الاساسية التي تؤثر في اللحامية هي:

أ- التوصيلية الحرارية للسبيكة المراد لحامها وغاز التغليف
ب- غاز التغليف
ج- نوع تياراللحام
د- تصميم وصلة اللحام
هـ- مكان(منطقة)اللحام
و- ظروف السطح(التنظيف)

وستتم مناقشة تاثير نوع التيار في فقرات لاحقة وفي العمليات والسبائك المختلفة.

11- 6- 1 تاثير التوصيلية الحرارية:-

يتاثرسـلوك النحـاس وسـبائكه بـصورة شـديدة بالتوصـيلية الحراريـة والـتي تتغيربشكل كبيرفي هذه السبائك. يبين الجدول(11-1) مقدار التوصيلية الحراريـة النـسبية التي تعتمـد علـى التوصـيلية الحراريـة للـسبيكة (C10200) (وهوالنحـاس الخـالي مـن الاوكسجين) والتي تساوي(392 W/m.k) 226 BTU/h.f t.°F عنـد68°F (20°C) والـتي اعتبرت% 100.

اما المدى المبين في الجدول (11-1) فهو من 100 للسبائك C10200 وC11000 الى القيم القليلة 8 الى 12 لسبائك فضيات النيكل والنحاس نيكل و 9 للسبيكة C65500 (برونز السليكون العالي A). واذا اريدت المقارنـة بالتوصـيلية للفـولاذ الكـاربوني فهـي تساوي 30 BTU/h.ft.°F عند 68°F وعلى المقياس المذكور تساوي 13.

وعند لحام النحاس التجاري وسبائك النحاس المنخفضة التسبيك والتي لها توصيلية حرارية عالية فيجب اختيار نوع التيار وغاز التغليف الملائمين لاجل استغلال اعظم حرارة ممكن استخدامها لتلافي تبديد الحرارة السريع من منطقة اللحام.

وحتى سبائك النحاس الاقل توصيلية تحتاج الى تسخين مسبق (Preheating) (وحسب سماكة المقطع) بالرغم من الحرارة المركزة الداخلة وفي كل عمليات لحام القوس. ويجب ان تكون درجة حرارة التمريرة الوسطية (Inter Pass) مساوية لتلك التي تكون عند التسخين السابق للحام. ان سبائك النحاس لا تعامل حراريا بعد اللحام (Post weld heat treatment) كما هي الحالة الاعتيادية في سبائك الفولاذ، لكنها ربما تحتاج الى تبريد مسيطر عليه لتقليل الاجهادات المتخلفة والهشاشيةعند درجات الحرارة العالية (Hot Shortness).

11- 6- 2 غازات التغليف(الحماية)Shielding Gases:-

يستخدم غاز الاركون كغازتغليف في عمليات لحام القوس وقد يستخدم ايضا الاركون مع25 الى% 75 من الهيليوم. ومن المفيد تطويرطرائق لحام متوافقة مع استخدام الاركون او مخاليط ذات نسبة اركون عا لية. وينتج غاز الاركون او مخاليط الاركون-هيليوم مناطق لحام اكثرانتظاما مما ينتجه الهيليوم لوحده في سبائك النحاس، ويعطي استقرار قوس اكبر ويؤدي الى تطاير لحام اقل.

يفضل الهيليوم لوحده او مخلوطا مع الاركون عندما يراد حرارة داخلة كبيرة كما هي الحالة في لحام النحاس عالي التوصيلية او سبائكه وكذلك برونزيات الالمنيوم. حيث يعطي غاز الهيليوم حرارة داخلة اكبربمقدارالثلث مما في حالة غاز الاركون عند تيار لحام متساو.

11- 6- 3 تصميم وصلة اللحامJoint Design:-

لايختلف كثيرا تصميم وصلات اللحام للنحاس وسبائكه عن تصميم الوصلات المستخدمة في لحام القوس في الفولاذ. فمقاطع ذات سمك يصل الى 1/8 in يمكن ان توصل باستخدام لحام الاخدود المربع ومن دون فتحات جذر (Root Openings). اما

المقاطع الاكثرسماكة فتوصل عادة اما باستخدام لحام حز(اخدود) بشكل حرف(V) منفرد اوبشكل حرف(V)مزدوج (احدهما من جهة السطح العلوي والاخرمن السفلي) مع اوجه اوسطوح جذر لاتزيد علي 1 /8 in عرضا، الشكل(11-2).

اخدودان مزدوجان بشكل حرف Vاحدهما من السطح العلوي والاخر من السفلي.	اخدود منفرد بشكل الحرف V	اخدود مربع

شكل(11-2)

أنواع الأخاديد المستخدمة في لحام الصفائح ذات السماكات المختلفة.

يجب ان يخفّض تصميم وصلة اللحام والتثبيت من اجهادات التقلص اضافة الى عمل سماحات لمعامل التمدد الحراري العالي للنحاس وسبائكه لمنع حدوث التشقق، والذي قد يحدث نتيجة لهشاشية المعدن الاساس عند درجات حرارة قريبة او اعلى من خط الصلابة(Solidus).

تستخدم الاشرطة او الحلقات الساندة بصورة اوسع مما هوعليه في حالة الفولاذ وذلك لتجنب فقدان المعدن المنصهر، وخصوصا في حالة النحاس وسبائكه وبالاخص التي تكون مُسالة بمديات درجات حرارة عالية. تصنع الاشرطة والحلقات الساندة عادة من نفس السبيكة المراد لحامها او من النحاس او الكاربون او الكرافيت او شريط سيراميكي.

يوضح الجدول(11-2) انواع الملحومات والوصلات التي تستخدم في لحام القوس للنحاس وسبائكه. اما الابعاد وفتحات الجذر و زوايا الحز(الاخدود) المثالية للحام ولمختلف انواع السبائك فستعطى في جداول الظروف العامة للحام.

11- 6- 4 مكان اللحام Welding Position:-

تستخدم الاماكن المسطحة كلما امكن ذلك بسبب السيولة العالية للنحاس واغلب سبائكه. يستخدم الوضع الافقي في بعض لحام الزاوية للوصلات الركنية وتلك التي تكون على شكل حرف(T).

ان الاوضاع العمودية وفوق الراسية والافقية اقل استخداما في وصلات اللحام التناكبي (Butt Welding). وهي في العادة مقتصرة على (GTAW) و(GMAW) لبرونزيات الالمنيوم وبرونزيات السيلكون وسبائك النحاس- نيكل. يستخدم في اللحام خارج المكان (الموضع) (Out-of-Position) اقطاب صغيرة وسلك معدن حشو(Filler Metal) مع تيارات لحام منخفضة.ويمكن تحقيق ذلك باستخدام تيارنبضي للسيطرة على السيولة (Fluidity)، وذلك لانه يجمع بين معدل منخفض للحرارة الداخلة مع تحول (انتقال) رذاذي (Spray transfer).

وعند استخدام لحام قوس المعدن المغلف (SMAW) خارج موضع اللحام فهو في العادة مقتصرعلى وصل برونزيات الالمنيوم وسبائك النيكل- نحاس، ولكن يمكن ان يستخدم لبرونزيات الفسفوروبرونزيات السليكون ايضا.

11- 6- 5 السبائك القابلة للتصليد بالترسيب

(Preciptation-Hardenable Alloys)

ان اكثر تفاعلات التصليد بالترسيب اهمية تحصل في سبائك النحاس- بريليوم والنحاس كروم والنحاس بورون والنحاس- نيكل- سليكون والنحاس زركونيوم. لذلك يجب اخذ الحيطة عند لحام سبائك النحاس القابلة للتصليد لتجنب الاكسدة وعدم الانصهارالتام. ويجب لحام الاجزاء عند ظروف التلدين التام كلما امكن ذلك ومن ثم تعامل الملحومات حراريا لانجاز التصليد بالترسيب.

11- 6- 6 التشقق الحار Hot cracking:-

تكون سبائك النحاس التي لها مدى واسع من درجات حرارة السيولة الى الصلابة (Liquidus -to- Solidus) مثل سبائك النحاس قصديروالنحاس- نيكل، عرضة للتشقق الحارعند درجات حرارة التصلب. يتجمد السائل الموجود بين الشجيرات ذو درجة الانصهار الواطئة عند درجة حرارة اوطأ من جرم الشجيرات نفسها. فتولّد اجهادات الانكماش(Shrinkage Stresses) فواصل بين الشجيرات خلال عملية التجمد. يمكن ان تقلّل ظاهرة التشقق الحاربتخفيض التقييد (Restraint) خلال عملية اللحام وبالتسخين المسبق لإبطاء معدل التبريد وتخفيض مقداراجهادات اللحام وتقليل مقاس فتحة الجذر وزيادة مقاس تمريرة الجذر.

الجدول(11-2):

الظروف(a) العامة للحام بتقنية قوس التنكستن الغازي للنحاس ذو النقاوة التجارية باستخدام اقطاب نوع EWTh-2 وقضيب لحام نوع ERCu و DCEN.

سماكة المعدن المراد لحامه (انج in)	فتحة الجذرb (انج in)	قطر القطب (انج in)	قطر قضيب اللحام (انج in)	غاز التغليف (c)	معدل جريان الغاز ft³/h	التيار امبير (A)	سرعة اللحام انج/دقيقة in/min	عدد التمريرات	درجة حرارة التسخين المسبق °F (°C)
الوصلات التناكبية-حزمربع									
1/16	0	1/16	لايستخدم	اركون	15	140-110	12	1	لايوجد
1/16	0	3/32	لايستخدم	اركون	15	225-175	11	1	لايوجد
1/16	1/8	3/32	3 /32، 1/8	اركون	15	225-175	11	1	لايوجد
3/16	3/16	1/8	1/8	هليوم	30	225-190	10	1	(93)200
وصلات تناكبية- حز منفرد بشكل V 60°، وجه جذر16 /1انج									
1/4	1/16كحد اقصى	1/8	1/8	هليوم	30	260-225	9	1	(149)300
3/8	1/16كحد اقصى	3/16	3/16	هليوم	40	320-280	---	2	(260)500
وصلات تناكبية- حزمنفرد بشكل V 60°، وجه جذر16/ 1انج (d)									
1/2	1/16كحد اقصى	1/4 و 3/16	1/4	هليوم	40	320-280	---	3	(260)500

وصلات طية- ملحومة زاوية(e)									
1/16	0	1/16	1/16	اركون	15	150-130	10	1	لايوجد
1/16	0	3/32	1/8، 3/32	اركون	15	250-200	9	1	لايوجد
3/16	0	1/8	1/8	هليوم	30	250-205	8	1	(93)200
1/4	0	1/8	1/8	هليوم	30	280-250	7	1	(149)300
3/8	0	3/16	3/16	هليوم	40	340-300	---	3	(260)500
وصلات الزوايا الخارجية- حز مربع									
1/8	كحد اقصى1/8	3/32	1/8، 3/32	اركون	15	225-175	11	1	لايوجد
3/16	كحد اقصى3/16	1/8	1/8	هيليوم	30	225-190	10	1	(93)200
1/4	كحد اقصى 3/16	1/8	1/8	هيليوم	30	260-225	9	1	(149)300
3/8	كحد اقصى1/4	3/16	3/16	هيليوم	40	320-280	---	2	(260)500
وصلات الزوايا الخارجية - حز منفرد زاويته 50^{o}، وجه الجذر 16/ 1انج									
3/16	كحد اقصى1/16	1/8	1/8	هليوم	30	250-205	8	1	(93)200
1/4	كحد اقصى1/16	1/8	1/8	هليوم	30	280-250	7	1	(149)300
3/8	كحد اقصى1/16	3/16	3/16	هليوم	40	340-300	---	3	(260)500
وصلات الزوايا الداخلية - حزمربع، ملحومة زاوية									
1/8	كحد اقصى1/8	3/23	3/32، 1/8	اركون	15	250-200	9	1	لايوجد

وصلات على شكل T – ملحومة زاوية									
8/1	كحد اقصى1/16	3/32	3 /32، 1/8	اركون	15	250-200	9	1	لايوجد
3/16	كحد اقصى1/16	1/8	1/8	هيليوم	30	250-205	8	1	(93)200
1/4	كحد اقصى1/16	1/8	1/8	هيليوم	30	280-250	7	1	(149)300
3/8	كحد اقصى 1/16	3/16	3/16	هيليوم	40	340-300	--	3	(260)500

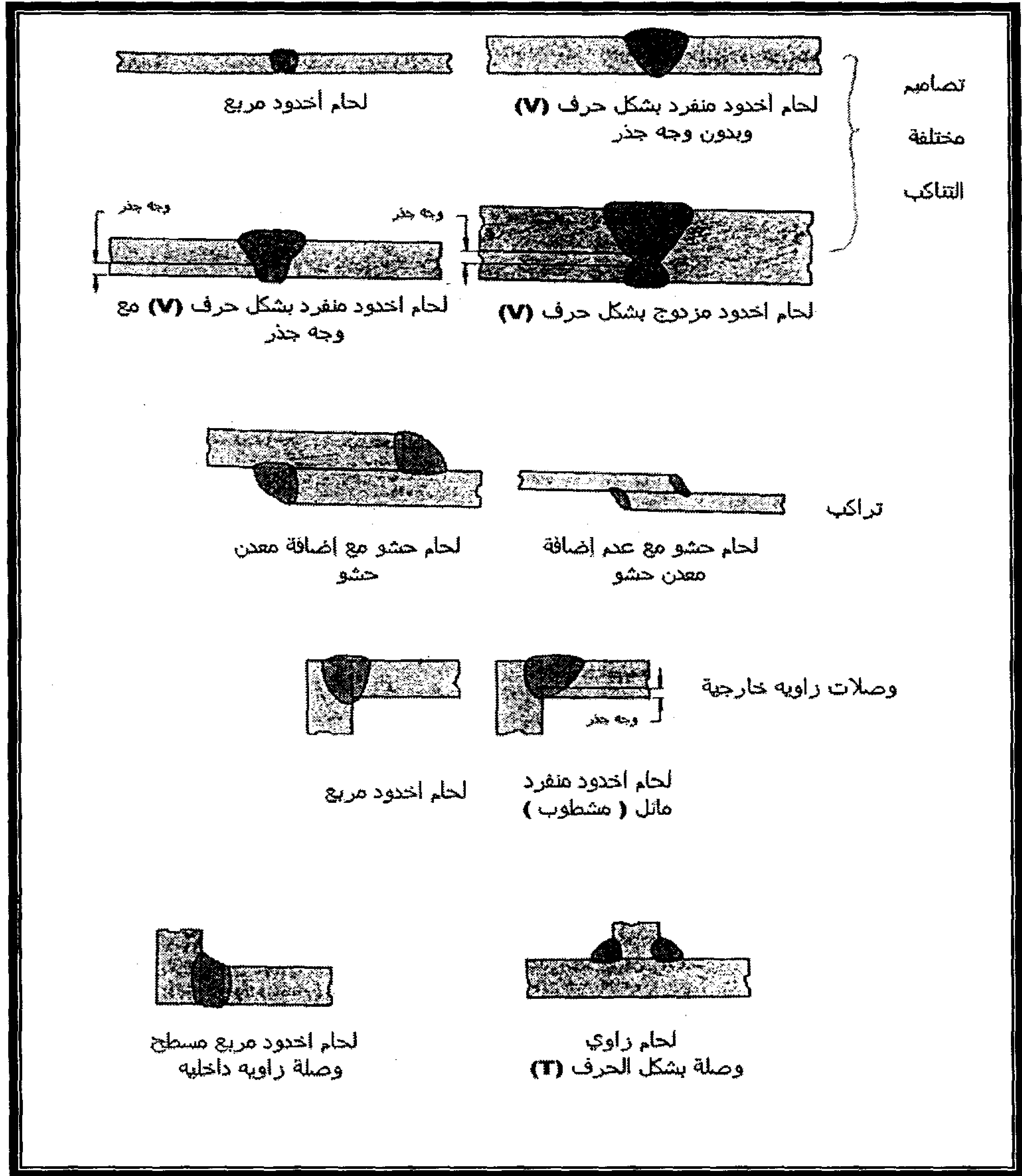
(a) تهدف المعلومات التي في هذا الجدول بالدرجة الاساس الى ترسيخ التصميم والظروف المثلى للحام الاجزاء لمن تعوزهم الخبرة السابقة، فهي اذن خاضعة للتعديل عند الضرورة لتلائم المتطلبات الخاصة لكل حالة تطبيقية على حدة.

(b) يمكن استخدام الحلقات او الاشرطة المسنودة من الخلف بشرائح من السيراميك او الكرافيت او الكاربون او النحاس.

(c) يمكن استخدام خليط من غازي الاركون والهيليوم ايضا.

(d) عمق الحز الخلفي على شكل V هو8/ 3من سماكة الجزء(الشغلة).

(e) استخدام معدن الحشو اختياري للسماكة 4in/ 1او اقل.



أشكال ملحقة بالجدول (11-2) تبين تصاميم لوصلات لحام مختلفة.

11- 6- 7 المسامية(Porosity):-

تمتلك بعض العناصر، على سبيل المثال، الخارصين والكادميوم والفسفور درجات حرارة انصهار واطئة. فيمكن ان تنتج المسامية من جراء تبخر هذه العناصر خلال عملية اللحام. وعند لحام سبائك النحاس المحتوية على هذه العناصر فيمكن تقليل المسامية باستخدام سرع لحام عالية ومعدن حشو لايحتوي الا على القليل من هذه العناصر.

11- 6- 8 ظروف السطح(Surface Conditions):-

يجب ازالة الشحوم والاكاسيد من سطوح الجزء المراد لحامه قبل عملية اللحام. فيمكن استخدام الفرشاه السلكية او التنظيف الكيميائي بالغطس. يجب ازالة قشور التفريز(Milling) من سطوح برونزيات الالمنيوم وبرونزيات السليكون وحتى مسافة 1/2in على الاقل من منطقة اللحام وتتجزبوسائل ميكانيكية عادة. يجب ازالة الشحوم والصبغ وعلامات اقلام التاشير اللونية واوساخ الورشة وما شابه ذلك من الملوثات من سطوح سبائك النحاس نيكل قبل عملية اللحام لما قد تسببه من هشاشية. ويجب ازالة قشور التفريز من سطوح سبائك النحاس نيكل بوساطة التنعيم (Grinding) او بالتنظيف الكيميائي، اما الفرشاة السلكية فغير ذات اثر.

11- 7 لحام قوس التنكستن الغازي(GTAW):-

تلائم تقنية لحام قوس التنكستن الغازي النحاس وسبائكه بسبب شدة قوسه الذي يعطي درجة حرارة عالية جدا عند منطقة الوصل و منطقة متاثرة بالحرارة(HAZ) ضيقة. فعند لحام النحاس وسبائكه الاكثر توصيلا للحرارة تكون شدة القوس مهمة في اكمال عملية الانصهار و باقل حرارة للمنطقة المجاورة في المعدن الاساس ذي التوصيلية الحرارية العالية. ومن المرغوب فيه ان تكون المنطقة المتاثرة بالحرارة ضيقة عند لحام سبائك النحاس المصلدة بالترسيب.

ان لحام قوس التنكستن الغازي للنحاس وسبائكه تستخدم على الاغلب في المقاطع التي سماكتها الى حد 1/8 in والتي تكون محضرة بحافة مربعة. ولا يستخدم عادة

معدن حشو في وصل هذه السماكات. وعند لحام مقاطع ذات سماكات اعلى من 8in/ 1بقوس التنكستن الغازي فعندئذ يكون معدن الحشو لازما. اما المقاطع التي سماكتها اكثر من 2in/ 1فانها تلحم بتقنية قوس التنكستن الغازي اذا لم تتوفر اجهزة تقنية لحام قوس المعدن الغازي(GMAW) او عند الظروف الخاصة كالهشاشية الحارة للمعدن الاساس او ما يجاور ذلك من المعالم الحساسة للحرارة فعندئذ من الضروري الحد من الحرارة الداخلة. وعند مثل هذه الظروف تفضل عملية لحام قوس المعدن المغلف (SMAW) النبضي.

11- 7- 1 **نوع التيار**Type of Current:-

يتم تنفيذ لحام قوس التنكستن الغازي للنحاس وسبائكه باستخدام القطب السالب للتيار المباشر(DCEN)(Direct Current Electrode Negative) للسماح باستخدام اسلاك لحام باصغر مقاس لتيار لحام معين ولضمان اقصى تغلغل. يستخدم التيار المتناوب المثبت بوساطة التردد العالي لسبائك النحاس بريليوم وبرونزيات الالمنيوم لمنع تكوّن اغشية الاكاسيد الشديدة التماسك على المعدن الاساس.

11- 7- 2 **الاقطاب(اسلاك اللحام)**(Electrodes):-

يمكن استخدام اي من اقطاب التنكستن او التنكستن السبيكي القياسية للحام النحاس وسبائكه بتقنية (GTAW)، والظروف المذكورة هنا تنطبق بصورة عامةعلى هذه المعادن. عدا ماتم التنويه عنه للاصناف الخاصة من سبائك النحاس فيفضل استخدام قطب التنكستن- ثوريوم وعادة ما يكون النوع (EWTh2) وذلك للأداء الاحسن والعمر الاطول ومقاومة اعلى للتلوث.

11- 7- 3 **معادن الحشو**(Filler Metals):-

ان معادن الحشو الاكثر استخداما في تقنية(GTAW)للنحاس وسبائكه مدرجة في الجدول(11-3). يكون التكوين الكيميائي لمعدن الحشو في الغالب متوافقاً بشكل جيد مع تكوين المعدن الاساس (Base metal). ولكن ربما يتم اختيار معدن حشو ذو تكوين كيميائي يختلف عن المعدن الاساس. وسيتم التطرق الى الاسباب المؤدية الى ذلك في الفقرات الاتية من موضوع لحام قوس التنكستن الغازي لسبائك النحاس المختلفة.

11- 7- 4 التطبيقات الممكننة (Mechanized Applications)

ان احدى تطبيقات تقنية (GTAW) للنحاس وسبائكه والتي تمكنن غالبا والى حد ما هي في لحام نهايات الانابيب بصفائح الانابيب (Tube Sheets). وفي المثال الاتي عند التغيير من لحام قوس التنكستن الغازي(GTAW) اليدوي الى اللحام المؤتمت (Automatic)، باستخدام معدات ممكننة، يزداد معدل الانتاج من ضعفين الى ستة اضعاف اضافة الى تحسن نوعية مثل هذا اللحام.

جدول(11-3)

معادن الحشو الاغلب استخداما في تقنية(GTAW) للنحاس وسبائكه (a)

المحتويات الاساسية (b)	تصنيف جمعية اللحام الامريكية(AWS)	معدن الحشو
0.15P ،0.5Si ،0.5Mn ،1.0Sn ،Ag+≥98.0Cu	ERCu	النحاس
0.1-0.35P ،4.0-6.0Sn ،Ag+≥93.5Cu	ERCuSn-A	برونزيات الفسفور
Ag+Cu والباقي 1.5Fe ،.9-11 AL	RCuAl-A2	برونزيات الالمنيوم
Ag+Cu والباقي 3.0-4.25Fe ،11.0-12.0Al ،	ERCuAl-B	برونزيات الالمنيوم
≥ 94.0 Cu+Ag ،2.8-4.0Si ،1.5Zn ،1.5Sn ، 1.5Mn ،0.5Fe	ERCuSi-A	برونزيات السليكون
Ag-Cu الباقي ،1.0Mn ،.40-0.70Fe0 29.0-32.0(Ni+Co) ،.20-0.50Ti0	ERCuNi	نحاس نيكل

(a) اعتمادا على A5.6 AWS ،A5.7 ،A5.27 نلاحظ الطبعة الحالية للمواصفات لمعرفة التكوينات الكيميائية كاملة وملاءمتها.

(b) النسب المئوية المنفردة هي الحد الاقصى مالم يذكرخلاف ذلك.ان العناصر الاختيارية والشوائب قد حذفت.

المثال الاول: التغيير من اللحام اليدوي الى لحام قوس التنكستن الغازي المؤتمت للانابيب مع صفيحة انبوب (Tube Sheet) وعند تصنيع المبادلات الحرارية والمكثفات

من انابيب سبائك نحاسية ذات سمك جدار مقداره048in. 0وقطر خارجي مقداره 4in/ 3تلحم بقوس التنكستن الغازي بصورة مؤتمتة مع صفيحة انبوب ذات سمك نموذجي مقداره in1 من مختلف السبائك النحاسية الاخرى (الجدول11-4).

كان اللحام يتم في الاساس يدويا ولكن العملية كانت صعبة وتؤدي الى انتاجية منخفضة وذات نوعية لحام مشكوك فيها. اما عند التحول الى اللحام المؤتمت، فان مقاومة الشد لوصلة اللحام التي يمكن الحصول عليها عادة تساوي مقاومة الشد الدنيا للمعدن الاساس. اما معدلات الانتاج فكانت ضعف الى ستة اضعاف اسرع مما هي عليه في اللحام اليدوي. يبين الجدول (11-4) ظروف اللحام ومعدلات الانتاج ومقاومة شد اللحام للّحام المؤتمت.

11- 7- 5 **اللحام التناكبي**(Butt Welding):-

ان التطبيق الاخر لتقنية(GTAW) الممكننة هي توصيل التناكب لنهايات اللفائف (الملفات) الصغيرة للاشرطة المعدنية لعمل لفائف اكبر. يستعرض راس قطب اللحام طول منطقة الوصل اوتوماتيكيا.ان استخدام هذه الطريقة لستة سبائك موصوفه في المثال الاتي:-

المثال الثاني: استخدام لحام قوس التنكستن الغازي لوصل اشرطة السبائك. ان الاشرطة ذات السماكة (19in. 0الى 0.03)وحتى (25in) عرضا للسبائك C11000 أو C12200او C23000او C26000 تلحم تناكبيا بتقنية(GTAW) نصف المؤتمتة وتحت الظروف المبينة في الجدول(11-5) لعمل اشرطة طولية لاجل اختزال السماكة بوساطة الدرفلة الباردة (Cold rolling). تكون السبيكةC26000 لينة عندما تلحم اما السبائك الاخرى فتكون صلدة.

يمكن بعد اللحام اجراء عملية الدرفلة لسبائك النحاس كالسبيكة C26000 ومن دون ان تنكسر منطقة اللحام. ان بعض سبائك النحاس، كالبراص، يتصاعد منها الدخان عند اللحام وعند فحص نماذج منها لوحظ وجود بعض المسامات في منطقة اللحام بسبب تبخر أوكسيد الخارصين.

الجدول(11-4) يتضمن ظروف اللحام ومعدل الانتاج ومقاومة الشد للحام قوس التنكستن الغازي(GTAW) لخمسة توليفات من صفائح الانابيب وانابيب سبائك نحاسية.

اللحام بالقطب السالب للتيار المباشر(DCEN) وغاز تغليف من الاركون بمعدل ضخ مقداره $15ft^3/h$ وبدون معدن حشو.

جدول (11-4)

ظروف اللحام ومعدل الانتاج ومقاومة الشد في تقنية (GTAW) لبعض السبائك النحاسية

ارقام السبائك (مع الاسماء الشائعة لها) صفائح الانابيب (a)	الانابيب (b)	التيار (A)	زمن اللحام (S)	معدل الانتاج قطعه لحام بالساعة	معدل مقاومة الشد(ksi)
C61400 برونزالالمنيوم D	C68700 براص الالمنيوم الزرنيخي	160-170	16	80-85	50.8
C6550برونزعالي السليكون A	C12200برونز الفسفور متنزع الاوكسجين (DHP)	170-180	12	90-100	34.3
C65500برونزعالي السليكون A	C44200براص + ISn غيرمعالج	160-170	12	90-110	46.9
C65500برونزعالي السليكون A	C68700 براص الالمنيوم الزرنيخي	160-170	16	80-85	51.5
C71500 نحاس-نيكل، 30%	C71500 نحاس-نيكل، 30%	120-130	24	90-110	47.8

(a) السماكة النموذجية(1in) مع الثقوب (للانابيب) وبزاوية محصورة ° 82مع غرزلولبي لعمق(0.04in).

(b))3/4in كقطر خارجي مع سماكة جدار مقدارها(0.048in).

11- 7- 6 النحاسيات Coppers:

ان نوعية وصلات النحاس التجاري الملحوم بطريقة(GTAW) تختلف اعتمادا على محتوى النحاس من اوكسيد النحاسوز(Copprous Oxide). اما ظروف اللحام والسمك وتصميم الوصلات فهي مبينة في الجدول(11-2).

11- 7- 7 تاثيراوكسيد النحاس:-

يدخل او يتواجد اوكسيد النحاس في المعدن الاساس من جراء عملية تاكسد المعدن المنصهراثناء اللحام بالقوس الكهربائي وخلال ذلك يتنقل هذا الاوكسيد الى الحدود البلورية. ومن ثم تنخفض المقاومة والمطيلية لمنطقة اللحام وكذلك يؤثر بشدة على خواص الكلال(Fatigue).

يمكن الحصول على نتائج ممتازة عند لحام النحاس المختزل بالقوس الكهربائي وذلك لانه:

1- خالي من اكاسيد النحاس

2- يحتوي على بقايا الفسفور والذي يتحد مع الاوكسجين خلال عملية اللحام او التسخين، ومن ثم يمنع تكون الاوكسيد.

جدول(11-5)

ظروف لحام التناكب عند استخدام تقنية قوس التنكستن الغازي نصف المؤتمت لاشرطة سبائك النحاس.

سمك الشريط (in)	التيار(DCEN)(A)	الفولتية (V)	سرعة اللحام(in/min)
السبيكة C11000 اوC12200			
0.030-0.035	80-95	20	50
0.080	230	21	40
0.190	420-490	13-14	20
السبيكة C21000 اوC22000 او C23000			
0.030-.0350	80-95	20	50
السبيكة C26000			
0.090	180	17	35
يجب تنظيف النهايات المراد وصلها(لحامها)من الاكاسيد والزيوت ثم تُقص بصورة عمودية انيا (بعدالتنظيف) وتُلحم تناكبيا ويُحافظ على استقامتها وتسطحها بوساطة الملزمة. ومن الضروري مراعاة التكوين الكيميائي للمعدن المراد لحامه للسيطرة على نفوذ الانصهار لكامل سمك المعدن.			

تكون المقاومة والمطيلية والمسامية لمناطق اللحام في سبيكة C10200 (نحاس خالي من الاوكسجين)ذات قيم وسطية بين تلك التي لسبائك النحاس المختزل(C12200 وC12000) وتلك التي للسبيكة C11000 (النحاس الكهربائي المتين)والذي يحتوي على02. 0الى 05%. 0 اوكسجين.

ان الانخفاض في الخواص الناتج من اللحام بالقوس الكهربائي للنحاس الحاوي على الاوكسيد هو اقل من الانخفاض الناتج من الغازات والهشاشية التي يعاني منها النحاس الحاوي على الاوكسجين عند لحامه بالاوكسي استيلين.

11- 7- 8 الغازات الواقية (Shielding Gases):-

يفضل استخدام الاركون كغاز واق عند لحام المقاطع وحتى السمك (0.06in). اما عند لحام المقاطع الاكثرسمكا فيلزم سرع لحام واطئة و تسخين مسبق مع غاز الاركون. ويفضل استخدام الهيليوم للمقاطع الاكثر سمكا من(0.06in). وفي حالة تكوّن نقرة لحام اكثر سيولة ونظافة عندئذ تقل كثيرا احتمالية انحصار الاكاسيد. وعند المقارنة مع الاركون، فالهيليوم يسمح بعمق اختراق اكبر وسرع لحام اعلى وعند نفس تيار اللحام.

اما استخدام خليط من هذين الغازين فينتج عنه خواص لحام وسطية. وعند اماكن اللحام غيرالمستوية، فان استخدام مزيج من 65 الى 75% هليوم- اركون يعطي توازنا جيدا بين نوعية الاختراق مع الهيليوم وسهولة السيطرة مع الاركون.اما معدل جريان الغاز فيتراوح في العادة بين (15 الى $40ft^3/h$) ويكون اكثرعند التيارات الاعلى والتي تستخدم عند لحام المقاطع الاكثر سمكا.

11- 7- 9 نوع التيار (Type of current):

لقد تمت الاشارة في الجدول(11-2)، انDCEN هو المفضل في لحام قوس التنكستن الغازي (GTAW) للنحاس تجاري النقاوة.

11- 7- 10 الاقطاب:

يستخدم قطب التنكستن المحتوى على 2% من اوكسيد الثوريوم(EWTh-2). ويعتبرافضل قطب للحام النحاس بتقنية(DCEN)حيث يتطلب طرفه المدبب اقل صيانة مع افضل عمر. يكون راس القطب المستخدم في لحام النحاس مدببا وبزاوية مخروطية مقدارها (60^o). تُقطع نقطة الراس المدبب عادة لتكون مساحته المستوية من (0.005 الى $0.02in^2$).

11- 7- 11 اللحام بدون معدن حشو:-

يمكن لحام النحاس والى سمك (1/8in) بالطريقة التناكبية وبتقنية(GTAW) وبدون استخدام معدن حشو، مع انه قد يستخدم في بعض الاحيان معدن حشو للسماكات القريبة جدا من(1/8 in).

اما عند المقاطع الاكثر سمكا من(1/8in) فيمكن لحامها بقوس التنكستن الغازي مع استخدام معدن حشو وذلك بتمريرتين، من كل جهة واحدة.

11- 7- 12 معدن الحشو:

ويستخدم بصورة عامة في لحام النحاس بقوس التنكستن الغازي عندما يكون السمك اكبر من حوالي(1/8in) (الجدول11-2). ان اختيار معدن الحشو المحتوي على بقايا من العنصرالمختزل مهم بسبب الاثار الضارة للاوكسجين على المقاومة والمطيلية وتمامية (Soundness) منطقة اللحام. علما بان تاثير الاوكسجين اكثر ضررا على معدن الحشو مما هو عليه في المعدن الاساس نظرا لكون معدن الحشو اكثر عرضة لحرارة اللحام.

وبصورة عامة يتم، بالنسبة للنحاس، اختيار معدن الحشو المحتوى على P 0.15% و0.50%Si كعنصري اختزال (الجدول11-3، AWS ERCu). اما المزايا الاخرى لمعدن حشو النحاس ERCu فهي توصيليته الكهربائية العالية نسبيا (30 IACS الى40%) واللون الجيد الذي يتماشى مع المعدن الاساس.

يمكن استخدام اي معدن حشو اخر مدرج في الجدول (11-3) في تقنيةGTAW للحام النحاس التجاري (لانه يحتوي على كميات ملائمة من العناصر المختزِلة) كالفسفور والسليكون والحديد والالمنيوم او التيتانيوم، وبالرغم من ان التوصيلية

الكهربائية تتأثر سلبا بوجود هذه العناصر الا انها تعزز مقاومة (Strength) وصلة اللحام.

11- 7- 13 تقنية اللحام:-

يمكن ان ينجز اللحام بحيث تكون فيه راحة اليد مماله باتجاه حركة اليد(Forehand) او عكس ذلك(Back hand). تحبذ الحالة الاولى في كل مواضع اللحام، لانها تعطي درزات(Beads) لحام اصغرواكثر انتظاما من لحام الحالة الثانية، ولذا تتطلب عدد اكثر من الدرزات لملء وصلة اللحام.

يجب ان تتغلغل الدرزة الاولى الى جذر وصلة اللحام وان تكون سميكة لاعطاء الزمن الكافي لاختزال معدن اللحام ومن ثم لتجنب تشقق الدرزة.

11- 7- 14 تصاميم وصلة اللحام:-

ان التصاميم المستخدمة في تقنية GTAW للنحاس وسبائكه مبينة في الجدول(11-2). تتطلب وصلات اللحام التناكبية (Butt joints) فتحة جذر في المقاطع السميكة مع استخدام معدن حشو بسبب التوصيلية العالية للنحاس. ان قدرا من السماح (Clearance) مطلوب لمنع المعدن الاساس من تسريب الحرارة بصورة كبيرة لدرجة ان معدن الحشو يتجمد بسرعة بحيث يخنق (يغلق) منطقة اللحام قبل ان تمتلئ.

تستخدم في العادة اشرطة او حلقات ساندة، تصنع من نحاس او كاربون او كرافيت (Graphite) اوسيراميك. عنداللحام التناكبي لوصلات النحاس بتقنية GTAW، بسبب السيولة العالية.

11- 7- 15 التسخين المسبق:

يتطلب التسخين المسبق عادة عند لحام المقاطع الاسمك من 8in1/ بتقنية GTAW وذلك للمحافظة على المعدن الاساس عند درجة حرارة اللحام من دون الفقدان(التسرب) المفرط لها الى المنطقة المحيطة. ان القوس الصغير المستخدم في GTAW لايمكن ان يحافظ على حرارة اللحام في المقاطع النحاسية السميكة حتى في احسن

الظروف. يعطي الجدول(11-2) درجات حرارة التسخين المسبق المطلوبة عند الظروف المختلفة.

11- 7- 16 النحاس المختزَل:-

ان وصلات لحام النحاس التي يراد لها نفس مقاومة (Strength) المعدن الاساس تُعمل(تُصنع) من النحاس المختزل عادة. وحتى مع الحرارة الداخلة الموضعية لتقنية GTAW فقد تتطلب تثبيتا خاصا مع ظروف اخرى لتقليل التشويه.

11- 7- 17 النحاس الخالي من الاوكسجين والنحاس النقي المتين:-

تفضل تقنية لحام قوس التنكستن الغازي على لحام قوس المعدن الغازي او اية عملية تولِّد حرارة موضعية داخلة أقل في لحام (وصل) النحاس الخالي من الاوكسجين (سبيكةC10200) او النحاس المتين النقي كهربائيا (السبيكة C11000) وعند سمك يصل الى (1/2in).

تمتلك وصلات لحام قوس التنكستن الغازي في سبيكة(C10200) مقاومة ومطيلية اقل وذات مسامية اكثر قليلا مما هو عليه الحال في النحاس المختزَل، وذلك بسبب عدم وجود المادة المختزِلة،الا اذا ابعدت كل البقايا(الاثار) القليلة المتواجدة من الاوكسجين.

في حين تمتلك وصلات لحام قوس التنكستن الغازي لسبيكة C11000 مقاومة شد اقل نوعا ما من وصلات لحام النحاس المختزَل، وهي ذات طبيعة اكثرمسامية. ومع ذلك فان خواص وصلات لحام قوس التنكستن الغازي للنحاس المتين النقي كهربائيا(C11000) مقبولة في العديد من التطبيقات المتضمنة ملحومات الموصّلات الكهربائية – وخاصة عند كون مقاومة الشد غيرمهمة نسبيا، كما هي الحال في ملحومات ملفات الحث (Induction Coil Weldments).

اما عند لحام سبائك النحاس مع بعضها بتقنية GTAW فهناك ظروف لحام مختلفة نوعا ما عن لحام النحاس غير السبيكي موجودة في الكتب المتخصصة.

11- 7- 18 اللحام مع المعادن المختلفة:-

يمكن لحام النحاس والعديد من سبائكه بوساطة قوس التنكستن الغازي مع سبائك النحاس الاخرى والفولاذ والفولاذ المقاوم للصدا والنيكل وسبائكه، وعادة يتم ذلك بمساعدة معدن حشو. لان استخدام تقنية GTAW لهذه الغاية ينحصر في العادة على معدن خفيف. فيتم اللحام عادة بدون لحام سطحي اولي. اما عند لحام المعادن غير المتشابهة والتي يفوق سمكها(1/8in) فتفضل تقنية لحام قوس المعدن الغازي(GMAW). وعند عدم امكانية تطبيق هذه التقنية، فيتم اللحام بالقوس المعدني المغلف(SMAW). يوجه القوس عادة نحو المعدن الاكثر توصيلا في المعدنين المراد لحامهما.

أ- اللحام باستخدام معدن حشو:-

يبين الجدول (11-6) توليفات من المعادن غير المتشابهة ملحومة بتقنية GTAW بالاستعانة بسبيكة نحاس او نيكل كمعدن حشو مع اعطاء معدن الحشو المفضل ودرجة حرارة التسخين المسبق لكل توليفة من المعادن. كل سبائك النحاس تقريبا القابلة للحام، كما في جدول(11-1)، يمكن ان تلحم، بهذه الطريقة، بمعادن مختلفة. لا تلحم سبائك النحاس- خارصين بطريقة قوس التنكستن الغازي مع معادن غير متشابهة، عدا عند لحام النحاس مع البراص منخفض الخارصين والذي يتم باستخدام برونز الفسفور كمعدن حشو.

ب- التسخين المسبق(Preheating):-

ليس هناك حاجة للتسخين المسبق(قبل اللحام) اذا لم يكن احد او كلا المعدنين، غيرالمتشابهين والموجودين في الجدول(11-6)، المراد لحامهما ذوى توصيلية حرارية عالية اذا كان سمك كل منهما اقل من حوالي(1/8in).

وفي اغلب الحالات، وحسب الجدول(11-6)تستخدم درجة حرارة واطئة او متوسطة للتسخين المسبق عند لحام سبيكتين لهما متطلبات تسخين مسبق مختلفة. اما في حالة وصل النحاس مع المعادن الاخرى فتكون درجة حرارة التسخين المسبق عالية اي حوالي 1000 °F لضمان نجاح عملية اللحام نظرا لتوصيلية النحاس العالية. ويجب ان

لايُسمح بالافراط في التسخين باكثرمن الدرجة الموصى بها نظرا لكون اغلب سبائك النحاس تتصف بخاصية المشاشية عند درجات الحرارة العالية (Hot Shortness).

جدول(11-6): معادن الحشو ودرجة حرارة التسخين المسبق المستخدمة عند لحام النحاس وسبائكه مع معادن مختلفة(a)

المعدن المراد لحامه	معدن الحشو ودرجة حرارة التسخين المسبق للحام معدن في العمود الاول مع اي من المعادن المذكوره				
	النحاس	برونزيات الفسفور	برونزيات الالمنيوم	برونزيات السيليكون	سبائك نحاس نيكل
سبائك نحاس					
براس ذو خارصين منخفض	ERCuSn-A او ERCu (1000°F)				
برونزيات الفسفور	ERCuSn-A او ERCu (1000°F)				
برونزيات الالمنيوم	ERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuAl-A2 او ERCuSn-A (400°F)			
برونزيات السيليكون	ERCuSn-A ERCu او (1000°F)	ERCuSi-A (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (150°F)		
سبائك نحاس نيكل	ERCuAl-A2او ERCu اوERCuNi (1000°F)	ERCu-Sn-A (150 °F)	ERCuAl-A2 (150 °F)	ERCuAl-A2 (150 °F)	
سبائك نيكل					
النيكل وسبائك النيكل-نحاس	ERCuNi او ERNiCu-7 (1000°F)	(b)	(b)	(b)	ERCuNi او ERNiCu-7 (150°Fmax)
Ni-Cr وNi-Fe و-Ni Cr.Fe	ERNi-3 1000)°F(	(b)	(b)	(b)	ERNi-3 150)°Fmax(

الفولاذ					
فولاذمنخفض الكاربون	ERNi-3 او ERCu او ERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 (150°F)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 اوERNi-3 (150°Fmax)
فولاذمتوسط الكاربون	ERNi-3 او ERCu اوERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 اوERNi-3 (150°Fmax)
فولاذ عالي الكاربون	ERNi-3 او ERCu اوERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuSn-A (°F500)	ERCuAl-A2 (°F500)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 اوERNi-3 (150°Fmax)
فولاذمنخفض السبيكة	ERNi-3 او ERCu اوERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuSn-A (500°F)	ERCuAl-A2 (500°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 اوERNi-3 (150°Fmax)
فولاذمقاوم للصدا	ERNi-3 او ERCu اوERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERNi-3 اوERCuAl-A2 (150°Fmax)
حديدالزهر					
الحديد الرمادي والطروق	ERCu اوERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuSi-A وERCuAl-A2 (300°F)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)
الحديد المطيل	ERCu اوERCuAl-A2 (1000°F)	ERCuSn-A (400°F)	ERCuAl-A2 (400°F)	ERCuSi-A وERCuAl-A2 (150°Fmax)	ERCuAl-A2 (150°Fmax)

(a) تعتمد معادن الحشو المختارة على اللحامية، الا اذا كانت الخواص الميكانيكية هي الاكثراهمية. يستخدم التسخين المسبق(قبل اللحام)فقط عند كون سمك الجزء المراد لحامه اكبرمن حوالي 1/8in اوان توصيليته الحرارية عالية جدا.ويعتمد التسخين المسبق ودرجة حرارته على حجم وشكل قطعة اللحام.

11- 8 لحام القوس المعدني الغازي GMAW :-

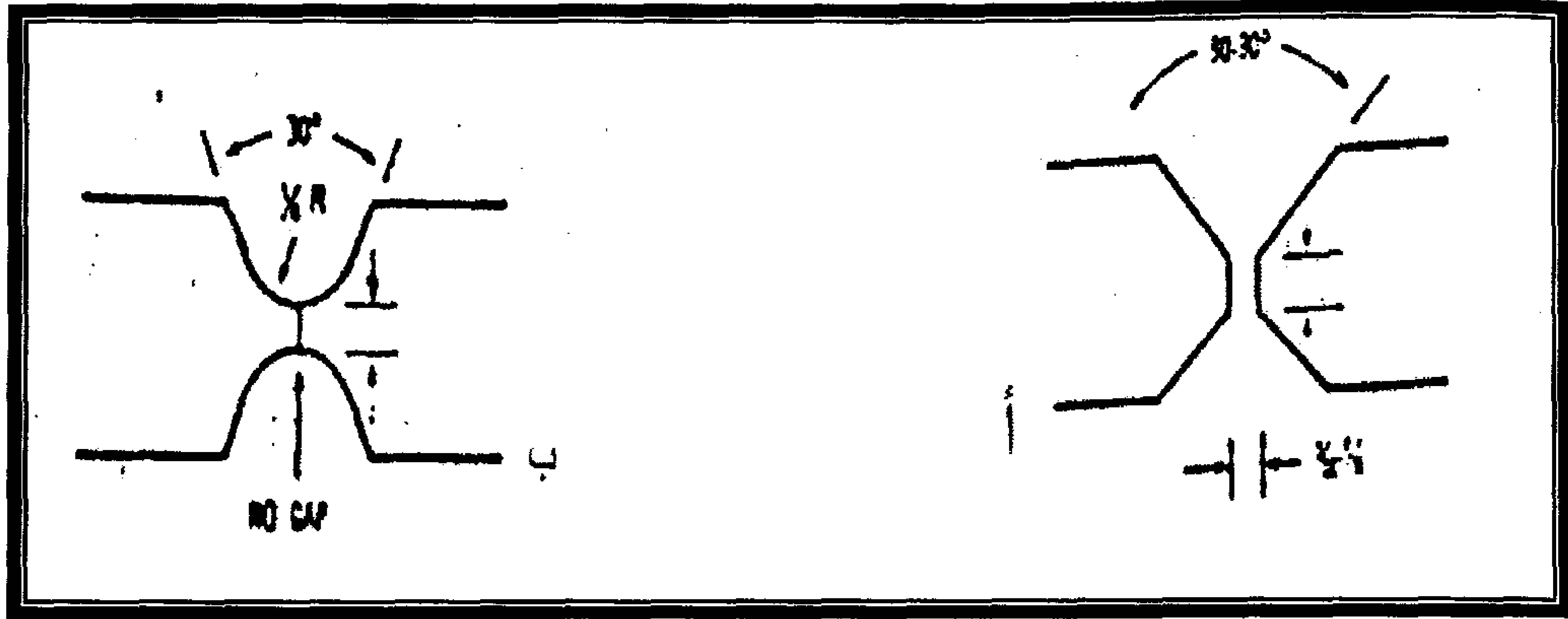
تستخدم هذه التقنية لوصل النحاس وسبائكه المدرجة في الجدول(11-1). وهي تفضل في وصل برونزيات الالمنيوم وبونزيات السليكون وسبائك النحاس نيكل وللمقاطع التي يزيد سمكها عن حوالي 1/8in. في حين تفضل تقنية لحام قوس التنكستن الغازي للسماكات الاقل من حوالي 1/8in.

ان التطبيقات الاغلب لتقنية(GMAW)هي لوصل سبائك النحاس من 8/ 1وحتى 2in/ 1سمكا. يتم اختيار هذه التقنية بصورة ثابتة تقريبا في لحام القوس لمقاطع سبائك النحاس الاكثر سمكا من حوالي 1/2in، حيث ان معدل تراكم مادة اللحام هو الميزه الاهم فيها على تقنية GTAW او SMAW.لكن معدل التسخين العالي لمنطقة اللحام مقارنة بتقنية GTAW يعتبر مثلبة في بعض التطبيقات بسبب تكوّن منطقة متاثرة بالحرارة عريضة نسبياً.

11- 8- 1 ظروف لحام القوس المعدني الغازي:-

يستخدم في هذه التقنية الاركون في الغالب كغاز تغليف وفي بعض الاحيان غاز الهيليوم عند تطلُب قوس ذو حرارة اعلى عند نفس مستوى التيار المستخدم مع الاركون. اما تيار اللحام فيستخدم وبصورة استثنائية التيار المباشرذو القطب الموجب (DCEP) للنحاس وسبائكه.

يستخدم اخدود بشكل حرف (V)منفرد للسماكات بين 8/ 1وحتى 2in/ 1اما في المواد الاكثر سمكا من 2in/ 1فيستخدم اخدودان على شكل حرف (V) اوبشكل حرف (U) احدهما في السطح العلوي والاخر مقابلا له في السطح السفلي، الشكل(11-3).



الشكل(11-3)

اخدودان(ا)بشكل حرف (V) و(ب)بشكل الحرف(U).

تستخدم هذه التقنية للحام سبائك النحاس المسطحة والافقية. اما عند اللحام في اماكن غيرمسطحة فتفضل عليها تقنية GTAW او SMAW. ومن المفضل استخدام اسلاك اقطاب صغيرة القطر وتيارات واطئة.

11- 8- 2 **اسلاك الاقطاب(معادن الحشو)**

Electrode wires(Filler metals)

ان مواصفات اسلاك الاقطاب المستخدمة في تقنية GMAW والمعادن التي تلحم فيها(تطبيقاتها) معطاة في الجدول(11-7).

جدول(11-7)

معادن الحشو الملائمةلتقنيةGMAW للحام النحاس وسبائكه.

السلك العاري (الجرد)	الاسم العام	التطبيقات للمعدن الاساس
ERCu	نحاس	لكل انواع النحاس
ERCu Si-A	برونزالسليكون	برونزيات السليكون وانواع البراص
ERCu Sn-A	برونزالفسفور	برونزيات الفسفور وانواع البراص
ERCu Ni	النحاس نيكل	سبائك النحاس نيكل
ERCuAl-A2	برونزالالمنيوم	برونزيات الالمنيوم،البراص، برونزيات السليكون وبرونزيات المنغنيز.
ERCuAl-A3	برونزيات الالمنيوم	برونزيات الالمنيوم
ERCu NiAl	-----------	برونزيات الالمنيوم نيكل
ERCuMnNiAl	----------	برونزيات الالمنيوم نيكل منغنيز
RBCuZn-A	براص بحري	براص ونحاس
RBCuZn-B	براص منخفض الدخان	براص وبرونزيات المنغنيز
RBCu-Zn-C	براص منخفض الدخان	براص وبرونزيات المنغنيز

ان تـاثير الاوكـسجين في نـشوء المـسامية وخفـض المقاومـة في النحـاس الملحـوم معلومـة، وكمـا وصـفت في تقنيـةGTAW للنحـاس، الا انهـا اكثـر وضـوحا في تقنيـة GMAW، لما يصاحب ذلك من حرارة عالية في هذه العملية. لذلك تكون المنطقة المتـاثرة بالحرارة اكثر مسامية واقل مقاومة(Strength) عند لحام النحاس الخالي من الاوكسجين. لهذا تـستخدم تقنيـة GMAW بـصورة اقـل مـن تقنيـة GTAW للحـام النحـاس النقـي والنحاس الخالي من الاوكسجين.

11- 8- 3 سبائك النحاس غير المتشابهة:-

يمكن ان تستخدم تقنية لحام القوس المعدني الغازي(GMAW) لوصل كل سبائك النحاس القابلة للحام تقريبا. بشرط اساس وهو انتقاء سلك النحاس الملائم(ذو التكوين الكيميائي المناسب) ودرجة حرارة التسخين المسبق. وكبقية طرائق لحام المعادن غير المتشابهة، يوجّه عادة القوس الكهربائي مباشرة الى المعدن الاكثرتوصيلية حرارية في المجموعة.

11- 8- 4 التسخين المسبق:-

كما هو الحال في تقنية GTAW فان التسخين المسبق غير ضروري لوصل معدن بسمك اقل من حوالي 1/8in الا اذا كان احد الجزئين له توصيلية حرارية عالية. اما عند السمك الاعلى فالحاجة الى التسخين واختيار درجة حرارته تتاثر بتصميم الوصلة وظروف اللحام. فعلى سبيل المثال، عند لحام النحاس مع سبائكه فان الحاجة الى التسخين تكون كبيرة لصهر النحاس العالي التوصيلية ودرجة حرارة التسخين المسبق في هذه الحالة هي1000°F تقريبا.

11- 9 لحام القوس المعدني المغلف

Shielded Metal ArcWelding

يستخدم جذراخدود كبيرالفتحة للنحاس وسبائكه عند استخدام هذه التقنية مع زاوية اخدود اعرض ولحام لدغي (Tack Weld) اكثرودرجة حرارة تسخين مسبق اعلى ودرجة حرارة بين التمريرات اعلى ايضا وتيار اعلى اذ ا ما قورنت مع ظروف لحام الفولاذ المنخفض الكاربون.

اما اسلاك اللحام وانواعها فهي مبينة في الجدول (11-8).

جدول(11-8)

معادن الحشو للنحاس وسبائكه المستخدمة في تقنية SMAW.

القطب المغطى	الاسم المعتاد	تطبيقات المعدن الاساس
ECu	نحاس	النحاس
ECuSi	برونزالسليكون	برونزيات السليكون والبراص
ECuSn-A، ECuSn-C	برونزالفسفور	برونزيات الفسفور والبراص
ECuNi	النحاس نيكل	سبائك النحاس نيكل
ECuAl-A2	برونزالالمنيوم	برونزيات الالمنيوم، براص، برونزيات السليكون وبرونزيات المنغنيز.
ECuAl-B	برونزالالمنيوم	برونزيات الالمنيوم
ECuNiAl	------------	برونزيات النيكل المنيوم
ECuMnNiAl	------------	برونزيات المنغنيزنيكل المنيوم

تقتصر تقنية لحام القوس المعدني المغلف في النحاس وسبائكه على لحام الاماكن المسطحة.ان من اهم مثالب هذه الطريقة هي تكون المسامية في منطقة اللحام ومن ثم انخفاض مقاومتها وذلك بسبب امتصاص الاوكسجين من قبل النحاس اثناء عملية اللحام.

11- 10 التطويرات الحديثة:-

لاتزال هناك تحسينات وتطويرات جارية على عملية لحام القوس الكهربائي.فزيادة استخدام الاجهزة الالكترونية الدقيقة ينعكس في جيل جديد من مصادر الطاقة وعمليات السيطرة واجهزة المراقبة. ومع ذلك فهذا كله لم يؤثر على متطلبات الخبرة العملية والانتباه الى التصميم والقواعد الاساسية الميتالورجية للحصول على وصل (لحام) ناجح. وبدلا عن ذلك صار بالامكان السيطرة الالية (الاوتوماتيكية) لمختلف عوامل(مَعلمات) اللحام والتي بدون ذلك تتطلب التدخل يدويا. فمنذ ادخال تقنية لحام

القوس المغلف بالغازالخامل، دخلت العديد من التطويرات التطبيقية في مجال لحام سبائك النحاس وهي:-

1- تقنية لحام قوس التنكستن الغازي ذو التيار النبضي (Pulsed-Current Gas Tungsten Arc Welding).

2- لحام القـوس المعـدني الغـازي ذو التيـار النبـضي (Pulsed-Current Gas Metal Arc Welding).

3- لحام القوس المعدني الغازي ذو السلك النحيف (الدقيق)(Fine Wire Gas Metal Arc Welding).

4- لحام قوس البلازما (PAW(Plasma Arc Welding.

5- تقنية لحام القوس المغمور(Submerged Arc Welding).

11- 11 لحام الكاوية Soldering

بدا تطوير تقنية لحام الكاوية في بدايات القرن التاسع عشر عنـدما تطلبـت الثـورة الصناعية وسائل تصنيع افضل. فكانت التطبيقات الصناعية المبكرة هي التي تلت صـناعة الراديو والتلفون والمصباح، والمبادلات الحرارية في السيارة (المـشعات) (Car Radiators) الى ما لانهاية له من المنتوجات الصناعية والتجارية. والحواسـيب والاجهـزة المتعلقـة بهـا تتطلب هي الاخرى لحام كاوية ايضا.

ان سبائك الحشو (Solders) الاكثر استخداما في هذه التقنية هي تلك المتكونة من القصدير والرصاص.حيث يتفاعل القصديروينتشر بسهولة في النحـاس. تتقبـل الـسبائك ذات الاساس النحاسي مقدارا محددا من القصدير في المحلول الجامد. اما عند زيادتـه عـن حدود الذوبان في المحلول الجامد فـسوف يتكـون طـور معـدني بـيني هـو علـى الاغلـب Cu_6Sn_5. وبما ان هذا الطور هش نسبيا لذلك ينصح بان تكون طبقة الحشو رقيقة. لذلك قد تضاف بعض العناصر لهذا النوع من سبائك الحشو (Sn-Pb) لتحسين خواصها.

يمكن ان يعرّف لحام الكاوية بانه التئام (التحام) المعدن عند درجة حرارة تحت 800 °F تقريبا اي حوالي 426°C.

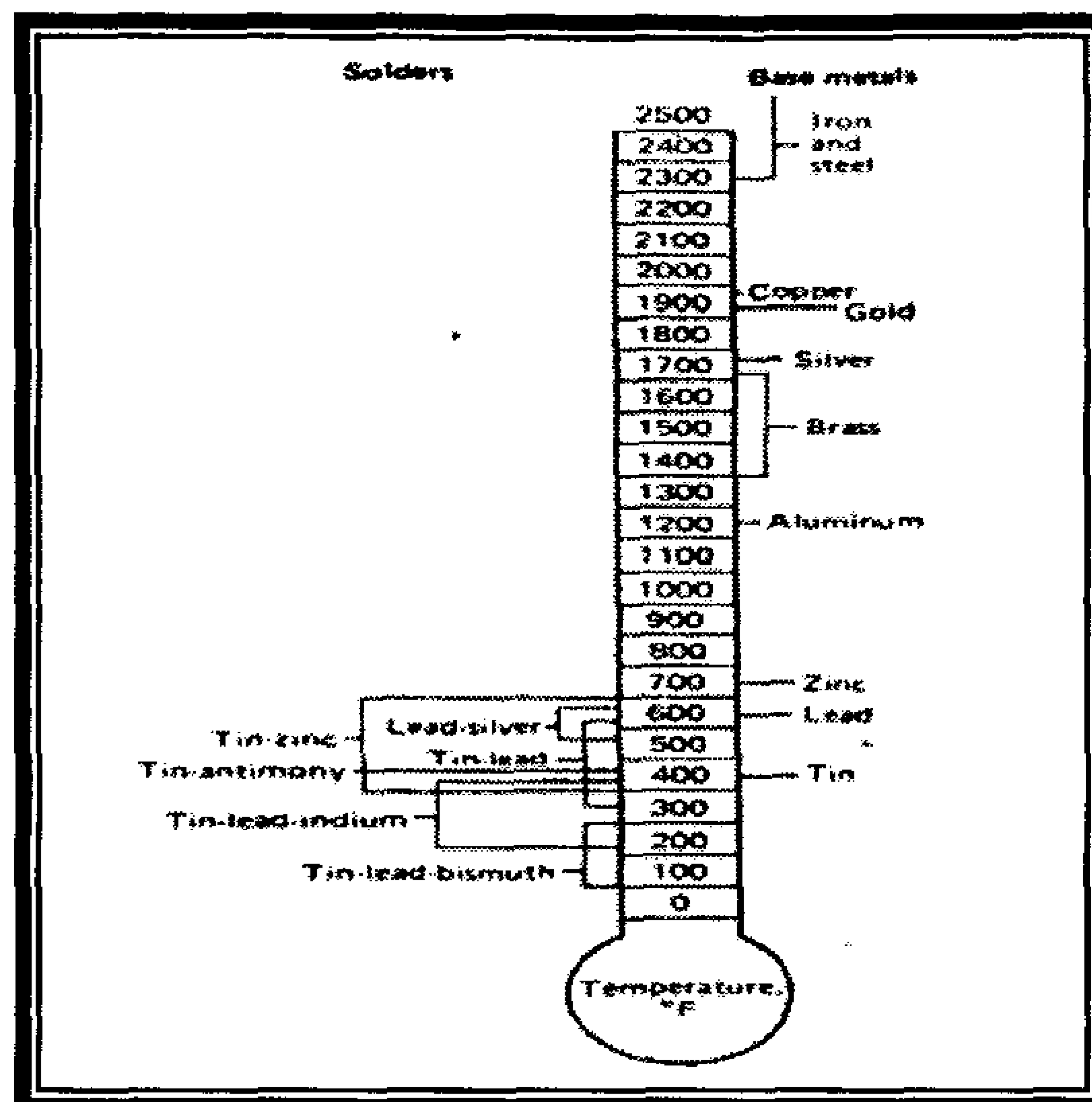
اذن في هذا النوع من اللحام(لحام الكاوية) توصل المعادن بتسخينها عند درجة حرارة ملائمة هي اقل من درجة حرارة التصلب (التجمد) لاي من المعدنين (المراد وصلهما مع بعض) وباستخدام معدن حشو(Filler metal) له درجة سيولة لاتزيد عن 840°F(450 °C). فمعدن(سبيكة) الحشو يدخل او ينتشر بين السطحين المتلامسين(للمنطقة المراد لحامها) بوساطة الخاصية الشعرية(Capillary Action).

ان اهم سبائك لحام الكاوية(Soldering alloys) هي سبائك القصدير- رصاص(Tin-Lead) وبنسب مختلفة وحسب الملاءمة. يتفاعل القصدير مع المعدن الاساس مكونا رابطة(اصرة) ميتالورجية(Metallurgical bond). ان تغيير نسب القصدير والرصاص واضافة عناصر سبيكة اخرى تؤدي الى تغيير مدى انصهار السبيكة، اضافة الى تغيير خواصها. فيمكن ان تحتوي سبيكة لحام الكاوية على الانتيمون(Antimony)(Sb) والفضة والخارصين والإنديوم (In) والبزموث(Bi). ويمكن المقارنة بين درجات حرارة انصهار سبائك اللحام والمعدن الاساس (المراد لحامه)من الشكل(11-4).

11- 11- 1 اسس لحام الكاوية:

عندما ينصهرمعدن اللحام والمادة الصهورة (Flux) (المساعدة على صهر المعدن)، فسينساب سائل المواد المصهورة على السطوح المراد وصلها. وعادة ماتكون النظافة والتكوين الكيميائي لهذه السطوح لهما الدور الهام في هذه العملية. ان اهم وظيفة للمادة الصهورة هي ضمان ان المعدن الاساس نظيف بصورة مقبولة ليتمكن معدن اللحام من الانتشار والانسياب لتعزيز تكوّن وصلة اللحام جيدة. يزيح سائل المعدن المادة الصهورة من سطوح منطقة اللحام ليصبح على اتصال تام ومباشر بالمعدن الاساس فاسحا المجال

لامكانية التفاعل الميتالورجي بين سائل اللحام والمعدن الاساس. يستمر المركب المعدني المتكون بالنمو بمعدل عال حتى يحدث التجمد عند منطقة الوصل.



الشكل(11-4)

مديات درجة انصهار سبيكة لحام الكاوية بالمقارنة مع درجات انصهار المعدن الاساس.

وعندما تتجمد منطقة الوصل تماما تستمر عملية الانتشار(Diffusion) بين المعدن الاساس ومادة اللحام حتى تبرد كامل المجموعة الى درجة حرارة الغرفة. وكنتيجة لذلك تعتمد الخواص الميكانيكية للمناطق الملحومة بصورة عامة على الخواص التي تمتلكها سبيكة اللحام ولكن ليس بالضرورة مكافئة لها.

يتم اجراء معظم عمليات لحام الكاوية في الهواء وباستخدام مادة صهورة تعمل على تكوين حاجز ضد التاكسد والتفاعل مع الجو.

11- 11- 2 سبائك لحام القصدير/ رصاص :-

يتم استخدام مدى واسع من مجموعة سبائك القصدير/ رصاص ولان لكل سبيكة منها تركيبها الكيميائي الخاص ومن ثم خواصها. لذلك يجب التأني عند اختيار سبيكة

اللحام المحددة. ان سبائك اللحام في نظام القصدير/رصاص هي الاكثر شيوعا في الاستخدام. يدرج عادة محتوى القصدير اولا، فعلى سبيل المثال، تكوين السبيكة 6040- يشير الى% 40 قصدير و60% رصاص. ومجموعة السبائك هذه متوفرة بمديات درجات انصهار صغرى تصل الى360°F (180°C) اوعليا تصل الى 600°F (315 °C). ومع استثناءات معينة، تنصهر كل سبائك لحام الكاوية بمديات درجة حرارة تتغير تبعا للتكوين الكيميائي للسبيكة.

11- 11- 3 التطبيقات:-

ان سبائك لحام الكاوية التي تحتوي على 50% قصدير تستخدم لوصل الحاويات المطلية بالقصدير وصناعة مشعات(Radiators) السيارات. اما سبائك لحام الكاوية لعامة الاغراض فهي تحتوي على 50%-40 قصدير اما استخداماتها فتشمل تصليح المواسير واعمال السمكرة وللتوصيلات الكهربائية والاعمال البيتية العامة. اما السبيكتين 40-60 و37-63 فتستخدم بشكل واسع في الصناعات الالكترونية.

11- 11- 4 المواد الصهورة Fluxes:-

ان تقنية هذه المواد معقدة، وتؤثر المواد الصهورة الاكالة والمستخدمة للاغراض العامة في النحاس والبراص والبرونز. وتطبيقاتها تشمل انتاج مشعات السيارات ومكيفات الهواء واجهزة التجميد وتجميع صفائح المعدن----الخ.

اما المواد الصهورة غير الاكالة (Non Corrosive) فهي ذات اساس راتنجي(Resin based). وفي كل تطبيقات لحام الكاوية سواءً الالكترونية منها او الخاصة فان أسلم (آمن) مواد صهورة معروفة هي ما يسمى الراتنج الابيض المائي المذاب في مذيب عضوي. هذه المواد الصهورة ذات تاثير جيد في تنظيف النحاس والبراص والبرونز والمعادن المطلية بالقصدير وما شابه ذلك.

11- 11- 5 التنظيف الاولي وتحضيرالسطح

(Precleaning and Surface Preparation)

تتعارض اغشية الزيوت والشحوم والاكاسيد واثار الاصباغ الدهنية ومزيتات القطع (Cutting Lubrications) واوساخ المحيط (الجو) بشكل عام مع لحام الكاوية.

اذن يجب الحصول على سطح نظيف لضمان وصل(Joint) منتظم وتام. لايمكن الاستعاضة عن التنظيف الاولي المناسب بالمواد الصهورة لوحدها. ان اغلب طرائق التنظيف الاعتيادية تتضمن ازالة الشحوم والتنظيف بالحامض والتنظيف بالمواد الحاكة والتنظيف الكيميائي.

11- 11- 6 تصميم وصلة اللحام:-

تكون مقاومة (Strength) سبائك لحام الكاوية نفسها، بصورة عامة، اقل من مقاومة المواد الاساس التي توصل (تلحم) بها. الا ان وصلات اللحام يجب ان تتمكن من تحمل الاحمال التي تتعرض لها اثناء الخدمة وعلى طول عمر وصلة اللحام المتوقع. ويعتبر التمزق الاجهادي(Stress rupture) وخواص الزحف(Creep) من الخواص الخطرة (الحرجه) في هذه الحالة. وهناك تصاميم وصلات عدة موضحة في الشكل (11-5).

وتعتبر الوصلة المتراكبة (Lap joint)، على سبيل المثال، من التصاميم المحافظة والآمنة.

بشكل حرف T	متراكب	زاوي	تناكب شريطي منفرد
حرف T زاوي	تراكب مزدوج	زاوي	تناكب الشفه

تماس خطي	تماس شفه زاوي	تراكب تساطحي	حرف T ذو شفه
لحام قعر ذو شفه	لحام قعر ذو شفه	لحام مستمر مقفل السطح	لحام حافه ذات شفه

الشكل(11-5)

تصاميم الوصلات المستخدمة غالبا في لحام الكاوية.

11- 12 **التبريص** Brazing:-

يعرّف التبريص بانه مجموعة من عمليات الوصل (Joining) والتي تكوّن اصرة او رابطة(Bonding) معدنية بالانصهار واعادة التجمد لمعدن الحشو(Filler metal) في الفجوة بين السطوح المراد لحامها او وصلها. يجب ان تكون حرارة انصهارمعدن الحشو اقل من المادة المراد لحامها، لان المعدن الاساس في هذه التقنية لاينصهر.

يتوزع معدن الحشو المسال، في التبريص الاعتيادي، بين السطوح المتماسة او المعدن الاساس عند نقطة الوصل بوساطة الخاصية الشعرية (Capillary action)، والتي تعمل بموجبها قوى التماسك والتلاصق على جعل المعدن المسال ينساب بين السطوح المتماسة حتى لو كان الانسياب عكس الجاذبية الارضية.

يمكن لاغلب المعادن ان توصل(تلحم)بالتبريص، ولكن ليس بالضرورة بنفس الجهازاو الاسلوب او الطريقة. و سنتطرق فيما ياتي الى عدة طرائق تجارية للحام النحاس وسبائكه وهي تصلح ايضا لوصل الفولاذ وحديد الزهر(Cast iron) والفولاذ المقاوم للصدا(Stainless Steel) والالمنيوم وسبائكه. ويشترط لكل سبيكة، يراد لحامها، ظروف خاصة كنوع سبيكة الحشو ودرجة الحرارة وغير ذلك وحسب المتطلبات الخاصة بها.

ويعتبر التبريص احد اهم التقنيات لوصل سبائك النحاس. وتستخدم في العادة معادن حشو ذات اساس فضي (Silver-Base Filler Metals) مع درجات حرارة تبريص تتراوح بين°F 1145الى°F 1600او من سبيكة النحاس- فسفور والتي تتطلب درجات حرارة تبريص من°F 1300 الى °F 1500. اما معدن حشو الدرجات الحرارة العالية فيشمل سبائك النحاس – خارصين. وتستخدم سبائك الذهب بالدرجة الاساس في التطبيقات الالكترونية عندما يتطلب الامر ضغط بخارمعدن حشو واطئ.

تطبق طرائق التبريص القياسية لوصل النحاس وسبائكه والجدول (11-9) يتضمن مقترحات لاختيار سبائك التبريص والطرائق الملائمة لها.

11- 12- 1 انواع التبريص(Types of Brazing):-

يمكن تزويد الحرارة الخاصة بهذه التقنية من عدة وسائل مختلفة، وفي الاغلب الاعم هي المشعل(Torch) والحث (Induction) والفرن(Furnace) والغطس الحار(Hot Dipping).

1- تبريص اللهب(Tourching brazing):-

وهي احدى الطرائق الاقدم والاكثر استخداما وانتشارا كمصدرحراري للتبريص وتعد الاكثرتنوعا وتوافقا مع اكثرالاشغال. فهي بالاخص ملائمة لاعمال التصليح في الحقل والاعمال الصغيرة في الحانوت (الدكان). وهي من الاعمال اليدوية، وقد يكلف التبريص باللهب اجور عمل عالية. وبمهارة وتخمين فنيّ اللهب يمكن تحديد نوعية الشغل الناتج.

يمكن استخدام الغاز الطبيعي والاوكسجين او الهواء والاستيلين او البيوتان او البروبين والاوكسي استيلين الاعتيادي.

واذا استخدم الاخير، فيستحسن اللهب المتعادل والذي هو الظرف المتوازن للاستيلين والاوكسجين. ويمكن استخدام اللهب المختزل(Reducing Flame)، اي اللهب الذي فيه زيادة من الاستيلين، وذلك لتجنب تاكسد المعدن. يسخن معدن الحشو باللهب عند منطقة الوصل عندما تكون المادة الصهورة بشكل سائل رائق. فالمعدن الاساس، وليس اللهب، هو الذي ينقل الحرارة الى سبيكة التبريص.

2- تبريص الحث(Induction brazing):-

يتم تزويد الحرارة في تبريص الحث بوساطة ملف يمر فيه تيار متناوب(ac) موضوع على مسافة قريبة جدا من منطقة الوصل. يتم الحصول على التيارعالي التردد (High Frequency Current)عادة بوساطة مذبذب الحالة الصلبة(Solid State Oscillator) والذي يولد ترددا بين 20 000Hz الى 5000 000Hz. تولّد التيارات المتناوبة عالية التردد تيارات معاكسة في القطعة المراد لحامها بالحث والتي تنتج حرارة بسبب المقاومة الكهربائية في القطعة. ولهذه الطريقة مزايا هي انها تعطي:-

1- حرارة جيدة التوزيع في القطعة.
2- سيطرة دقيقة على الحرارة.
3- تجانس في بنية اللحام.
4- سرعة في الاداء.

فهي اذن جيدة لبعض انواع الاشغال التي تتطلب خواص انتاجية متشابهة والتي يلزم السيطرة الدقيقة عليها.

جدول(11-9)

مرشد لعملية التبريص للنحاس وسبائكه.

السبيكة المراد لحامها	سبائك التبريص المالوفة	الجوا المحيط *	اعلى درجة حرارة يتكثف عندها البخار °F	رقم المادة المصهورة للتبريص بموجب AWS**	الملاحظات
النحاس	RBCuZn ،BCuP-3 ،BCuP-5	جومنضب او غني بالغازات المتحررة	20+	3 او 5	سبائك النحاس الحاوية على الاوكسجين يجب ان لا تلحم بالتبريص في اجواء محتوية على غاز الهيدروجين
	BAg-2 ،BAg-1 ،BAg-1a	غازات متفاعلة ممتصة	20+		
	BAg-18 ،BAg-6 ،BAg-5	امونيا متحللة	20+		
النحاس العالي	BAg-1 ،BAg-8			A3	
البراس الاحمر	BAg-2 ،BAg-1 ،BAg-1a	غازات متحررة منضبة نقية	10+	3	
	BCuP-3 ،BCuP-5	غازات متفاعلة ممتصة	10+		
	RBCuZn ،BAg-6 ،BAg-5	امونيا متحللة	20+	او 5 لسبيكة التبريص RBCuZn	
البراس الاصفر	BAg-2 ،BAg-1 ،BAg-1a	غازات متحررة منضبة نقية	40-	3	يتم المحافظة على دورة تبريص قصيرة
	BAg-6 ،BAg-5	غازات متفاعلة ممتصة	20-		
	BCuP-3 ،BCuP-5	امونيا متحللة	20+		
البراس الرصاصي	BAg-2 ،BAg-1 ،BAg-1a	غازات متحررة منضبة نقية	4-	3	المحافظة على دورة تبريص قصيرة وعمل ازالة للاجهادات قبل عملية التبريص
	BAg-18 ،BAg-7	غازات متفاعلة ممتصة	20-		
	BCuP-3 ،BCuP-5	امونيا متحللة	20+		

براس القصدير	BAg-2 ،BAg-1 ،BAg-1a	غازات متحررة منضبة نقية	40-	3	
	BAg-6 .BAg-5	غازات متفاعلة ممتصة	20-		
	BCuP-3 .BCuP-5	امونيا متحللة	20+		
	(RBCuZn للقصدير المنخفض)				
برونزيات الفسفور	BAg-2 .BAg-1 .BAg-1a	جومنضب اوغني بالغازات المتحررة	20+	3	ازالة الاجهادات قبل
	BCuP-3 .BCuP-5	غازات متفاعلة ممتصة	20+		عملية التبريص
	BAg-5 .BAg-5	امونيا متحللة	20+		
برونزيات السليكون	BAg-2 .BAg-1 .BAg-1a	غازات متحررة منضبة نقية او امونيا متحللة	40-	3	ازالة الاجهادات قبل عملية التبريص وقد يساعد التنظيف بالحك في انجاح العملية
برونزيات الالمنيوم	BAg-1 .BAg-1a .BAg-3	غازات متحررة منضبة نقية	40-	4	
	BAg-2	امونيا متحللة	40-		
نحاس - نيكل	BAg-2 .BAg-1 .BAg-1a	جومنضب اوغني بالغازات المتحررة	20+	3	ازالة الاجهادات قبل
	BAg-5 .BAg-13	غازات متفاعلة ممتصة	20+		عملية التبريص
	BCuP-3 .BCuP-5	امونيا متحللة	20+		
فضيات النيكل	BAg-2 .BAg-1 .BAg-1a	غازات متحررة منضبة نقية	40-	3	ازالة الاجهادات قبل
	BAg-6 .BAg-5	غازات متفاعلة ممتصة	20-		عملية التبريص والتسخين
	BCuP-3 .BCuP-5	امونيا متحللة	2+		بصورة منتظمة

*عادة ما يكون جو الغاز الخامل او الفراغ (Vacuum) مقبولا ايضا.

**AWS تعني جمعية اللحام الامريكية وهي مختصرل(Amarican Welding Society).

3- **تبريص الفرن** (Furnace brazing):-

وفيها يجب ان توضع المادة الصهورة ومادة التبريص المستخدمة في الوصلات والاجزاء المراد لحامها (تبريصها) في الفرن مسبقا. فاذا كان جو الفرن متعادلا او محجوبا(Shielded) فقد يمكن الاستغناء عن المادة الصهورة. يمكن ان يكون الفرن من النوع ذو الوجبة او الحزام الناقل(Conveyer). ان السيطرة الالية تنظم كلا من الزمن ودرجة الحرارة وكذلك محيط الفرن عندما يتطلب الامر ذلك.

4- **تبريص الغطس**(Dip Brazing):-

اخذت هذه الطريقة هذا الاسم كون ان الاجزاء، المراد لحامها، يتم هزها(تحريكها) وهي داخل المادة الكيميائية او المعدن المنصهراللاحم حيث يحافظ على درجة حرارة كليهما عند درجة حرارة التبريص المضبوطة. يتم تنظيف الاجزاء في المادة الكيميائية اولا ومن ثم يوضع معدن الحشو في المكان المراد لحامه من منطقة الوصل. يحفظ حمام الملح السائل عادة عند درجة حرارة اعلى من تلك اللازمة لمعدن الحشو المراد استخدامه. تؤخذ الاجزاء بعد ذلك مباشرة وتنظف انيا لازالة المادة الصهورة منها. اما عدد وحجم الاجزاء التي يراد تبريصها فتحدد بسعة الحمام المستخدم وامكانيات المناولة.

11- 12- 2 **تبريص المقاومة** Resistance brazing:-

يعتبر تبريص المقاومة نوع كهربائي من انواع عمليات التبريص. اذ انه يتم الحصول على الحرارة بامرار تيار خلال الاجزاء المراد تبريصها. وهناك نوعان متميزان من الاجهزة المستخدمة:

1- تلك التي تستخدم القضبان الكاربونية.

2- مكائن لحام المقاومة الاعتيادية.

عند استخدام القطع او القضبان الكاربونية كاقطاب يتم تسخينها الى درجة حرارة الاحمرار بسبب مقاومتها الكهربائية فاغلب الحرارة التي يتم الحصول عليها في منطقة الوصل تاتي من اقطاب الكاربون الساخنة. يمكن ان تكون الاجهزة المستخدمة صغيرة بحيث يمكن حملها ونقلها او كبيرة لايمكن تحريكها (ثابتة).

اما مكائن لحام المقاومة التي تحتوي على اجهزة توقيت، فتعطي نتائج جيدة وسرعة عالية بالنسبة لوصل الاجزاء الصغيرة. فهي مناسبة خاصة للنحاس وسبائكه.

يمكن استخدام السلفوز(Sil-Fos) مع كمية قليلة من معجون المادة الصهورة للبراص. فيجب ابقاء الضغط مسلطا على الوصلة حتى تتجمد السبيكة وعندها يزال الضغط وحالما يزال تخمد وصلة اللحام الحارة في الماء لازالة المادة الصهورة والمحافظة على عوازل الكابلات. فالنتيجة هي الحصول على وصلة لحام نظيفة وجيدة مع اقل مقدار من التاثير الحراري. وهذه هي الطريقة الوحيدة والتي يمكن بها الحصول على وصلات تبريص فضي من دون حرق لعوازل الكابلات النحاسية ذات المقاسات المحددة او الافراط في تسخينها.

هذه المكائن مزودة باقطاب مسطحة من التنكستن او سبيكة ذات نسبة عالية من التنكستن مسنودة بنحاس مبرد بالماء بحيث ان اغلب الحرارة تتولد عند الوصلة. يعمل التبريد المائي على تجمد السبيكة بسرعة. ان زمن التسخين قد يكون بحدود نصف ثانية ونادرا ما يتعدى الى ثلاث ثوان للوصلات الكبيرة.

لطريقة تبريص المقاومة عادة بعض المزايا وهي:-

1- يمكن ان تكون اوجه الاقطاب مسطحة اومشكلة حيث تتولد الحرارة عند الضغط.
2- تسخين سريع وتبريد سريع.
3- التقليل من خطر اللهب.
4- لا تتطلب الخبرة العالية.

11- 12- 3 تصميم وصلات التبريص Brazing Joint Design:-

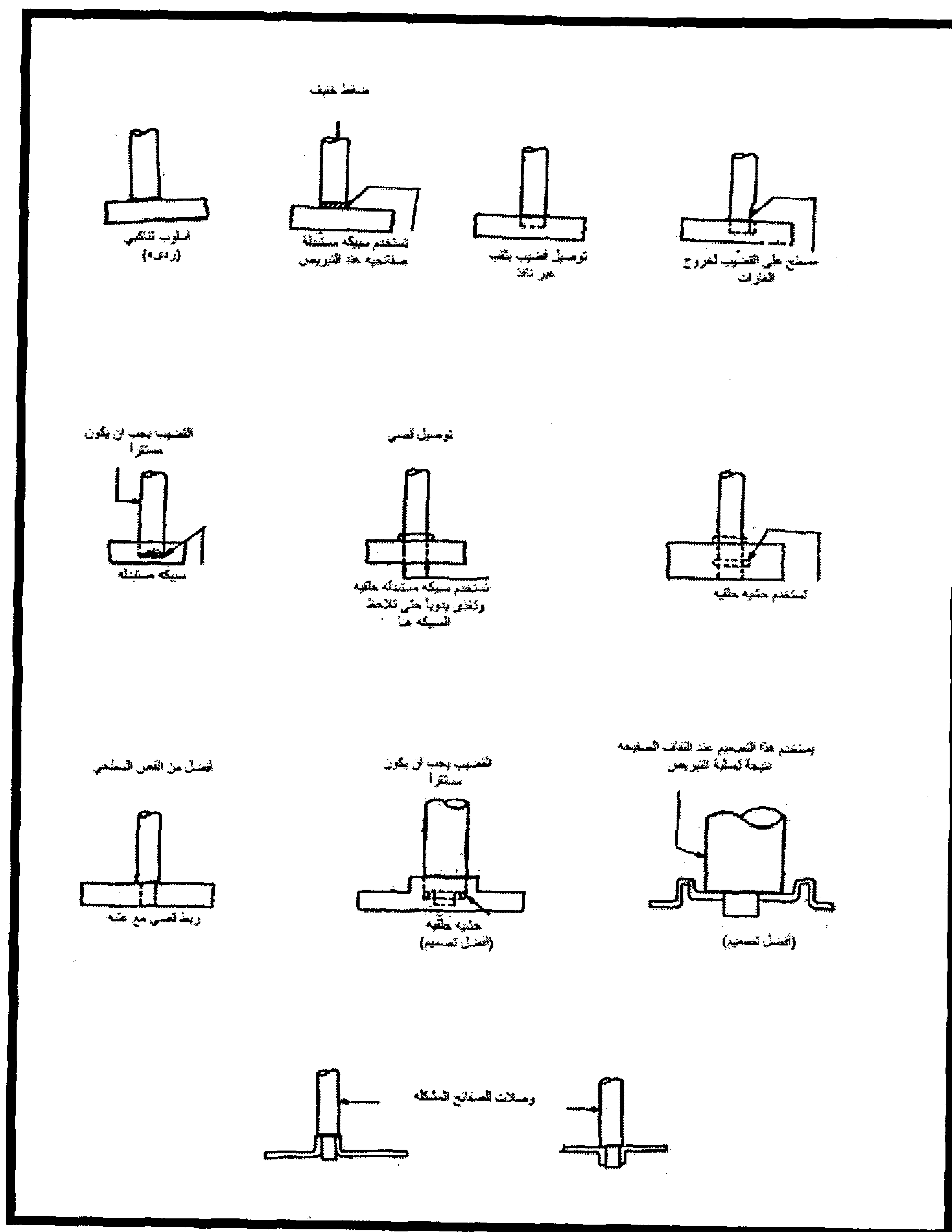
هناك عاملان مهمان يجب ان يؤخذا بعين الاعتبار في تصميم وصلة لحام التبريص هما المساحة والسماح (Clearance). يُظهر الشكل(11-6) امثلة لقاعدة المساحة في تصميم وصلات التناكب(Butt) والتراكب(Lap). فيعطي تراكب ثلاثة الى اربعة اضعاف مقدار سمك الجزء الانحف (الاقل سمكا) من القطعة على الجزء الاخرأعلى كفاءة تبريص.

يؤدي مقدار التراكب الاكبر مما ذكر الى عدم تمامية تغلغل سبيكة التبريص اضافة الى توليد المتضمنات(Inclusions). والوصلات اعلاه ملائمة في تضييق التهريب في حالة التوصيلية الكهربائية الجيدة. والشكل(11-7) يبين بعض تصاميم وصلات التبريص المختلفة.

(a) الوصل التناكي ردئ جدا.	(a)
(b) الوصل القراني التناكي أفضل بكثير (Scarf butt joint .	(b)
(c) طول وصلة التراكب يجب أن يكون ثلاثة أضعاف سمك القطعة المراد تبريصها.	3t (c)

شكل(11-6)

معيار المساحة في جودة وصلات التبريص المختلفة.



شكل(11-7)

بعض التصماميم المختلفة لوصلات التبريص.

11- 12- 4 سماحية وصلة لحام التبريص:-

يحدد سماح وصلة اللحام مقدار سمك غشاء سبيكة اللحام (Filler) التي سوف تتشكل بين الاجزاء.ولهذا السمك الأثر البالغ في تحديد مقاومة وصلة اللحام. يتم الحصول على اعلى مقاومة عندما يكون هناك فسحة كافية لانسياب سبيكة التبريص خلال وصلة اللحام عندما تسخن بحيث يسمح للمادة المصهورة والغازات من الخروج خارج الوصلة. ان مقدار السماح المثالي للشغل الانتاجي يتراوح بين0.05 الى0 .127mm (20.00 الى 50.00 in). يجب تجنب سماح الوصلات الاقل من 0.025mm(0.001in) والاعلى من0 .203mm (0.008in)، هذا ان امكن استخدام مثل هذه السماحات عمليا.

عند تحديد مقدار السماح فان التمدد الحراري للاجزاء يجب ان يؤخذ بعين الاعتبار ومن ثم استخدام سماح كاف بحيث انه عند درجات حرارة التبريص سيكون هناك مجالا كافيا لسبيكة التبريص من الدخول بين اجزاء وصلة اللحام.

11- 12- 5 المواد الصهورة للتبريص Brazing Fluxes:-

المادة الصهورة هي عامل كيميائي(Chemical agent) والتي اذا اختيرت واستخدمت بشكل مناسب للحالة المعينة سوف تساعد في عملية التبريص باساليب ثلاثة:-

1- سوف تغطي سطوح وصلة اللحام لحمايتها من التاكسد في الجو عند التسخين.
2- سوف تذيب اية اكاسيد متكونة على سطوح الاجزاء المعدنية المراد تبريصها.
3- سوف تخفض من الشد السطحي(Surface Tension) للسبيكة المذابة للسماح لها بالانسياب بحرية اكثر الى السطوح البينية لوصلة اللحام.

من الضروري معرفة ان المواد الصهورة هي ليست نوع من المنظفات. وفي بعض الاحيان يعمل سائل المادة الصهورة الفعال لتكوين وصلة لحام جيدة مع السطوح الوسخة ايضا، لكن المواد الصهورة ليست مصممة لازالة الزيت او الشحم او الكاربون او الصبغ وانواع عديدة من الاوساخ. ان وجود الاكاسيد او الاوساخ على سطوح

الاجزاء المراد لحامها قبل وضع المادة الصهورة سوف يزيد من احتمالية الحصول على وصلة لحام رديئة.

تعتبر مادة البوراكس ($Na_2B_4O_7$) من اقدم المواد الصهورة القياسية وهي موجودة بشكلين. فالبوراكس الاعتيادي يكون بطور بلوري(Crystalline) ويحتوي على مقدار معين من الرطوبة على شكل ماء تبلور. فعند تسليط الحرارة عليه ينتفخ ويكون على شكل لفائف بحيث انها تعطي حماية، والى حد ما، لوصلة اللحام بالتبريص. ويمكن تفادي هذه المشكلة عند إستخدام الطور اللابلوري(Amorphous) او البوراكس النقي عند ذوبانه بصورة هادئة. وتنحصر فائدته باسلوبين:-

1- بما انه يذوب عند حوالي 1400°F(760°C) لذلك فهو ذو فائدة فقط مع معادن الحشو عالية درجة الانصهار.
2- لايذيب اكاسيد معظم عناصر السبك،على سبيل المثال، الكروم والمولبدنوم والسليكون والتنكستن لذلك فهو يفيد فقط مع الفولاذ الاعتيادي والبراص والبرونزيات.

ان اغلب المواد الصهورة الخاصة بالتبريص هي خليط من عدة مركبات للحصول على درجة حرارة انصهار اقل من انصهار البوراكس (Borax) واكثر قابلية على اذابة الاكاسيد.

يُحدد نوع المادة الصهورة اللازمة بحيث انها تلائم المعدن الاساس اكثر مما تلائم معدن الحشو. تتوفر بصورة عامة مساحيق مواد صهورة لكنها لاتكون بتلك المرونة التي تتمتع بها المواد الصهورة المعجونية. يمكن ان تستخدم المواد الصهورة المعجونية بطلاء منطقة اللحام بها بوساطة فرشاة قبل التسخين ومن ثم تعطي بعض الحماية خلال عملية التسخين. كما ان المشعل الغازي قد ينفخ المسحوق الجاف ليبعده عن منطقة اللحام ما لم تسخن السطوح مسبقا الى الدرجة التي يبتدىء المسحوق بالانصهار ومن ثم يلتصق على المنطقة المطلوبة. وغالبا ما يسخَن قضيب او شريط معدن الحشو بحيث ان المسحوق يلتصق عندما يغمر القضيب في حاوية مسحوق المادة الصهورة.

11- 12- 6 طرائق حشو التبريص:-

تصنف معادن حشو التبريص الى سبعة تصانيف حسب ما هو شائع وهي:- الفضة والنحاس خارصين والنحاس فسفور والالمنيوم سليكون والنحاس ذهب والمغنيسيوم. ويتم انتاج هذه السبائك باشكال مختلفة كالاسلاك والقضبان المطلية والمساحيق. وكثيرا ما يعاد تشكيل سبائك التبريص بشكل حلقات او اشكال خاصة لاجل تبسيط وضع مقدار مضبوط منها على وصلة اللحام.

تختلف درجة الحرارة التي يمكن استخدام الاجزاء المبرصه عندها بصورة كبيرة. فكثير منها معد للاستخدام عند درجة حرارة الغرفة لكنه قد طوّرت سبائك لوصل الفولاذ المقاوم للصدا بحيث تصلح للاستخدام عند درجة حرارة تصل الى 1200 °C (2190°F).

11- 12- 7 فوائد التبريص ومحدودياته:-

يتلائم التبريص مع تقنيات الانتاج الواسع لوصل كلٍ من المعادن الحديدية و اللاحديدية. ومن اهم مزاياه ما ياتي:-

1- امكانية وصل (لحم) معادن مختلفة.
2- امكانية وصل بعض الاجزاء فعليا لانتاج مجموعة خالية الاجهادات.
3- يمكن وصل الجاميع المعقدة بخطوات متعددة باستخدام معادن حشو مختلفة وعند درجات حرارية متعاقبة الانخفاض.
4- يمكن وصل مواد مختلفة السماكات بسهولة.
5- قد تحتاج وصلات التبريص الى إنهاء(Finishing) وقد لا تحتاج إلا الى ازالة المادة الصهورة فقط.

المحدوديات:-

1- يكون تصميم وصلة اللحام محدودا اذا كانت المقاومة(Strength)هي احدى العوامل(الخواص)المطلوبة او الحاسمة.

2- عملية الوصل، بصورة عامة، محدودة بسمك الصفائح المعدنية والجاميع الصغيرة نسبيا.

3- قد تكون كلفة التحضير للوصلة عالية.

11- 13 لحام المونة Braze Welding:-

لحام المونة يشبه التبريص (Brazing) في ان المعدن الاساس لا يذاب بل يوصل بوساطة سبيكة ذات نقطة انصهارواطئة نسبيا والفرق الاساس هو ان في لحام المونة لاتنساب سبيكة اللحام او تنسحب الى ثنايا وصلة اللحام بفعل الخاصية الشعرية.

يتم تحضير وصلة لحام المونة بصورة مشابهة جدا الى التحضير لعملية اللحام(Welding)عدا انه يجب ألإنتباه لتجنب الزوايا الحادة والتي قد تصل الى درجة الافراط في التسخين بسهولة، ويمكن ان تكون مناطق لتركيز الاجهادات ايضا. يستخدم لحام المونة بصورة واسعة لاعمال التصليح وبعض عمليات التصنيع لبعض المعادن مثل حديد الزهر(Cast iron) وحديد الزهر الطروق والحديد المشكل والفولاذ. وكذلك تستخدم والى مدى اقل في لحام النحاس والنيكل وسبائك البراص ذات درجات الانصهار العالية نسبيا.

11- 14 اللحام الاحتكاكي Friction Welding

اذا احتك جزءين مع بعضهما بشدة وتحت ضغط تماس عال فالاوجه المتماسة يمكن ان تُسخُن الى درجة حرارة عالية تكفي للسماح لهما بالالتحام مع بعضهما. وابسط مثال هو الذي يتضمن دوران نهايتي قضيبين دائريين حول محورهما وباتجاه معاكس عندما يُضغطان على بعضهما.فعندما تتولد حرارة عالية ووافية، يتم ايقاف الدوران(اللف) ثم يضغط القضيبان الى بعضهما لاخراج الاكاسيد غير المرغوبة من منطقة اللحام بالعصر

خارج منطقة الحام ومن ثم ضمان لحام تام. وقد صنعت مكائن خاصة لتنفيذ هذا النوع من اللحام وهي تشبه الى حد ما المخرطة (LatheMachine) وتسمى مكائن اللحام الاحتكاكي (Friction Welding Machines). يمكن استخدام هذه الطريقة للحام المواد غير المتشابهة والتي يصعب لحامها بتقنية اللحام الكهربائي او الغازي.

ومع ان هذه الطريقة محدودة المجال لكنها توفر ميزات حقيقية كثيرة. فتكون المنطقة المتاثرة بالحرارة (Heat Affected Zone) (HAZ) ضيقة ولا تكون بنيتها كبنية المسبوكة، ولذا تكون ذات خواص ممتازة. وفي هذه الطريقة لا يلزم معدن حشو ولا مادة صهورة ولا غاز تغليف (حماية) كما تتم العملية بسرعة وباقل متطلبات طاقة. بيد انه يتكون معدن فائض عند منطقة اللحام تلزم ازالته فيما بعد.

وفي الوقت الحاضر فان هذه التقنية ملائمة للحام النحاس بالدرجة الاساس (اي اكثر من غيره من المعادن) مع سبائك اخرى مثل البراص والالمنيوم والفضة والفولاذ المقاوم للصدا وبرونزيات الالمنيوم. اما وصل النحاس بالنحاس بهذه الطريقة فلم يتحقق النجاح المرجو منه.

15-11 لحام النقطة Spot Welding

من بين كل المعادن والسبائك المالوفة صناعيا فان النحاس اقلها صلاحية للحام النقطة. نظرا لتوصيليته الحرارية والكهربائية العاليتين جدا. لان لحام النقطة الجيد يلزم مقاومة (Resistance)لنحاس عالية بين السطحين المتراكبين. لهذا فان القشرة (الطبقة الرقيقة من الاوكسيد الموجودة على سطح النحاس) تميل لتحسين لحامية النحاس ولكن تكرارية اللحام تكون رديئة ولذا يصار الى تنظيف النحاس عادة كيميائيا او ميكانيكيا قبل عملية لحام النقطة. يقتصر لحام النقطة عادة على لحام الصفائح النحاسية الرقيقة نسبيا فقط.

11- 16 لحام الحزمة الالكترونية Electron Beam Welding

يمكن إستخدام هذه التقنية لوصل عدد من انواع النحاس وسبائكه. وعند استخدام لحام الحزمة الالكترونية يتم الحصول على وصلات لحام تامة خالية من المسامات. يبين الجدول(11-10) ظروف لحام الصفائح لكل من نوعي النحاس وهما النحاس الخالي من الاوكسجين(Oxygen Free Copper)(OFC) والذي يحتوي على 99.95 %من النحاس او اعلى من ذلك اضافة الى النحاس المختزل أوالنحاس النقي المتين (Tough Pitch Copper) والذي قد يحتوي على بعض الاكسجين او العامل المختزل (Deoxidizer). اما للمعادن السميكة،فيبين الشكلان(11-8) و(11-9) مقدار تغلغل الحزمة الالكترونية مع تغيير سرعة اللحام وتبئير الحزمة وطاقتها. حيث أن النماذج التي تم أخذها كانت ذات سمك(1/2in)ومن نوع النحاس الخالي من الأوكسجين.

ان هذه التقنية تستخدم ايضا للحام بعض سبائك برونزيات الالمنيوم والى حد(1/4in).

جدول(11-10)

الظروف النموذجية للحام صفائح النحاس بتقنية الحزمة الالكترونية.

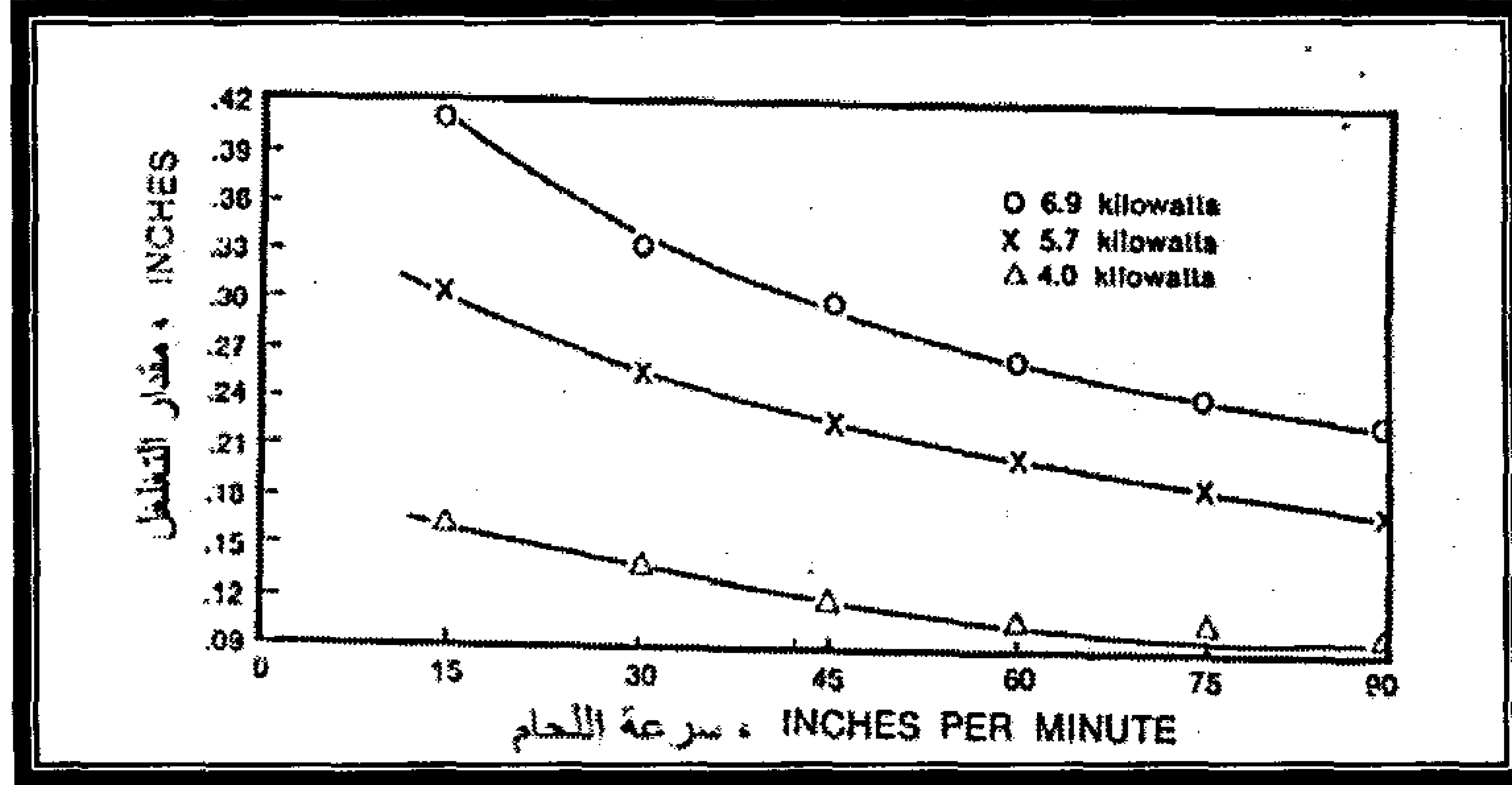
صنف السبيكة	السمك (In)	تيارالحزمة (mA)	فولتية الحزمة (kV)	سرعة اللحام in/min
نحاس خالي من الاوكسجين	0.02	30	13	8.8
نحاس نقي متين ومختزل	0.03	30-40	12.5	7.2

11 – 17 أللحام الانتشاري Diffusion Welding

يستخدم اللحام الانتشاري او لحام الحالة الصلبة للحصول على وصلات لحام قوية ومتينة وذات توصيلية جيدة من تراكيب النحاس. وقد ذكر ان ظروف لحام الضغط الغازي ودرجة الحرارة الملائمة هي 5000 psi وعند 1000 °F وللمدة 15 min على سبيل المثال. اذن فأساس العملية هو جعل السطحين المستويين المراد لحامهما على تماس مع

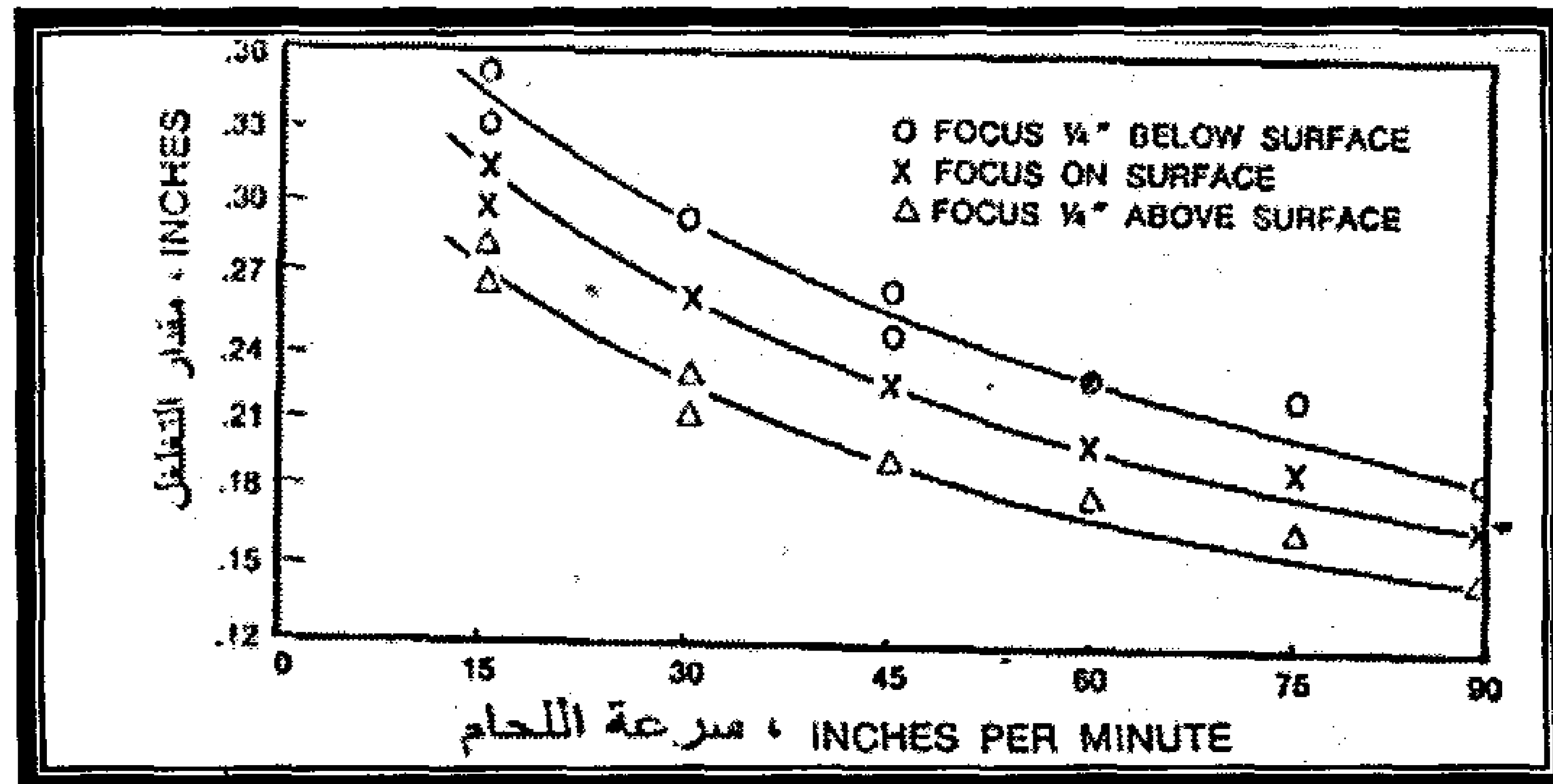
بعضهما مع تسليط ضغط مناسب عليهما وعند درجة حرارة مناسبة، اي اقل من درجة انصهار اي منهما. ومن المفضل ان تُجرى العملية في جو(محيط) خامل كغاز الاركون، على سبيل المثال.

وقد تم الحصول على نتائج جيدة عند لحام النحاس مع النحاس ومع النيكل والالمنيوم والبراص وغير ذلك من المعادن الملائمة الاخرى.



الشكل(11-8)

تغيّرمقدارتغلغل الحزمة الالكترونية مع سرعة اللحام للنحاس الخالي من الاوكسجين وعند ثلاث مستويات قدره (power) ولفولتية27 kV.



الشكل(11-9)

مقدار تغلغل الحزمة الالكترونية مع سرعة اللحام للنحاس الخالي من الاوكسجين ولمستويات تبئير ثلاثة عند فولتية27kV وتيار حزمه210mA.

الفصل الثاني عشر

خواص النحاس وسبائكه

Properties of Copper and its Alloys

الفصل الثاني عشر

خواص النحاس وسبائكه

Properties of Copper and its Alloys

12- 1 المقدمه :

لغرض التعرف على الخواص الميكانيكية وبعض الخواص الاخرى للنحاس وعدد من سبائكه وعند ظروف مختلفة أدرِج العديد من المنحنيات في هذا الفصل والتي تبين تغيّر الخواص مع نسب مختلفة من التشكيل سواءً اجري بعمليات الدرفلة او السحب إضافة الى التغيير الحاصل اثناء التلدين وعند درجات حرارة وزمن مختلفين ويوضح الجدول ادناه أغلب الخواص التي تم التطرق اليها ورموزها التي استخدمت في المنحنيات.

الرمز	الخاصية	وحدة القياس
σ	مقاومةالشد tensile strength	N/mm^2
σy	مقاومةالخضوع yield strength	N/mm^2
$\sigma_{0.5}$ $\sigma_{0.2}$	مقاومة الصمودعند انفعال 20%. او0% proof 5. strength at 0.2or 0.5%strain	N/mm^2
E	المطيلية Ductility	%
G.S.	المقاس الحبيبي(البلوري)Grain size	µm or mm
HB	صلادة برينيل Brinel Hardness	Kgf/mm^2
HV	صلادة فيكرز Vickers Hardness	Kgf/mm^2

HRB	صــــــلادة روكويـــــــل بمقيـــــاس(B) Rockwell(B)Hardness	
HRF	صلادة روكويل بمقياس(F) Rockwell(F)Hardness	
$\sigma=1/\rho$	التوصيلية الكهربائية وهي مقلوب المقاومة Electrical conductivity=1/Resistivity	$(\Omega.m)^{-1}$ or IACS $(6.25x10^6)(\Omega.m)^{-1}$=100 (IACS)%

12-2 خواص النحاس و سبائكه وعلاقتها بدرجة الحرارة و الزمن :

تتضمن هذه الفقرة خمسة عشر شكلا تعرض عددا من الخواص المهمة للنحاس و سبائكه و تغيرها مع نسبة التشكيل و درجة حرارة التلدين و غيرها.

فالشكل (12- 1) يبين تغير مقاومة الشد و المطيلية مع نسبة التشكيل على البارد للنحاس النقي.

أما الشكل (12 -2) فيعرض تغير مقاومة الشد و المطيلية و التوصيلية الكهربائية للنحاس عالي التوصيلية (E-Cu)مع درجة حرارة التلدين و الزمن.

كما يبين الشكل (12 – 3) تغير خواص سبيكة البراص كالصلادة و مقاومة الشد و المطيلية و الكثافة مع نسية التشكيل البارد و ظروف تلدين مختلفة و لنسب خارصين متغيرة.

و يوضح الشكل (12 – 4) تغير بعض الخواص الميكانيكية كالصلادة و إجهاد الخضوع و مقاومة الشد و إجهاد الصمود و المطيلية للبراص (37 – 63) مع نسبة التشكيل البارد.

ويظهر الشكل (12-5) تغير بعض الخواص الميكانيكيه كالصلاده و اجهاد الخضوع و مقاومة الشد و المطيليه للبراص (30-70) مع نسبة التشكيل ايضاً.

في حين يبين الشكل (12-6) تغير المقاس الحبيبي (mm) لسبائك البراص المختلفه مع درجه حراره التلدين ولمدة تلدين مقدارها نصف ساعه كما يُظهر جزءا من مخطط التوازن الطوري لنظام (Cu – Zn).

اما الشكل (12 – 7) فيتضمن تغير الخواص الميكانيكيه كالصلاده و إجهاد الصمود و مقاومة الشد و المطيلية و نسبة التشكيل الممكنة مع درجة حرارة التلدين و للسبيكة (Cu Zn38 Pb2).

اما الشكل (12-8) فيبين الخواص الميكانيكيه (الصلاده والمطيليه واجهاد الخضوع و مقاومة الشد) مع نشبة التشكيل البارد للسبيكه (Cu Zn38 Pb2).

في حين يبين الشكل (12-9) تغير الصلاده والمطيليه واجهاد الخضوع و مقاومة الشد مع نسبة التشكيل البارد للسبيكه نحاس نيكل (CuNi5).

ويعرض الشكل (12-10) الخواص الميكانيكيه (الصلاده ومقاومة الشد والمطيليه) مع نسبه التشكيل البارد لسبيكه البرونز (CuSn8).

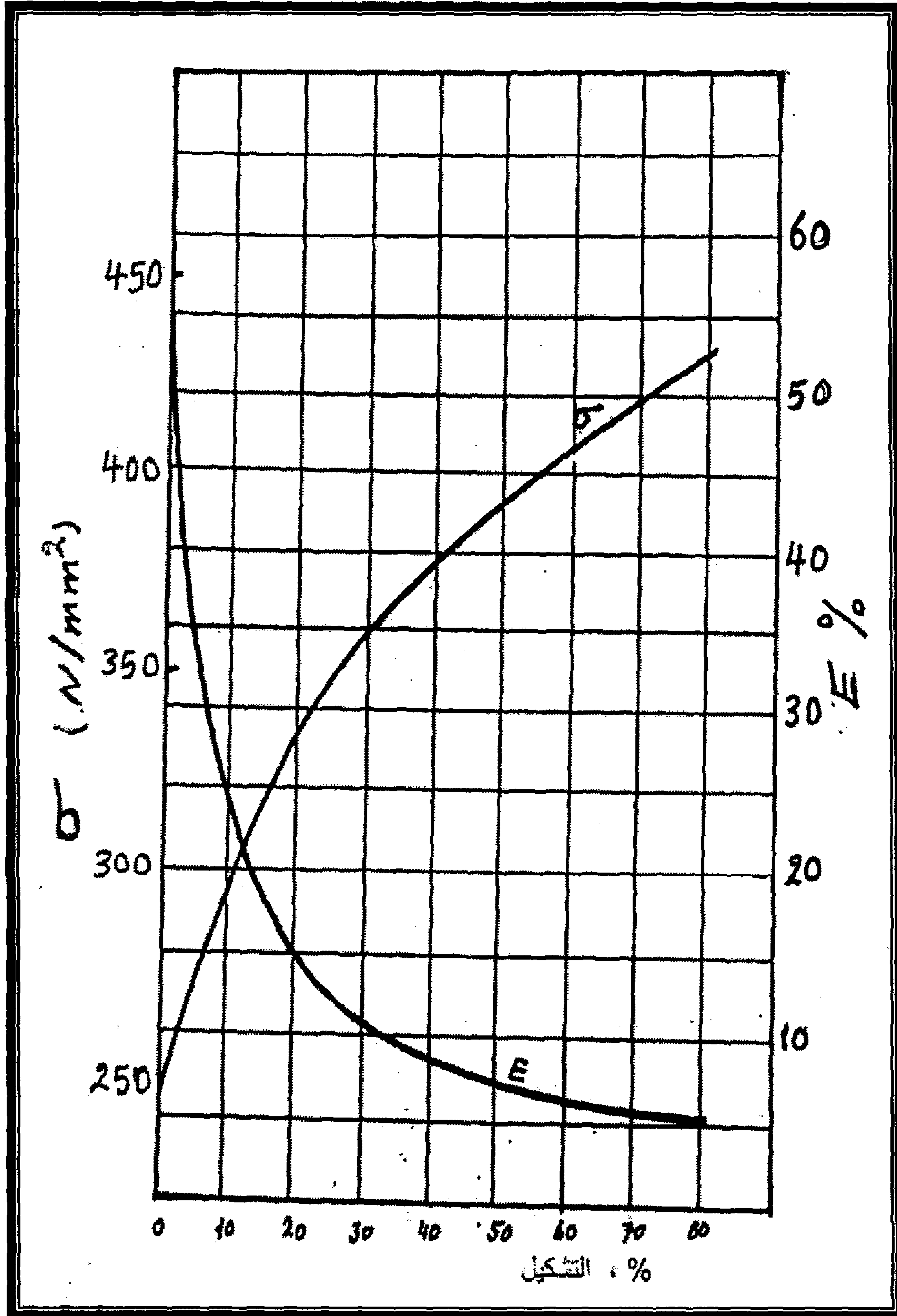
اما الشكل (12-11) فيبين تغير الخواص الميكانيكيه المذكوره في الشكل (12-10) مع نسية التشكيل ولكن لسبيكة (CuSn6).

اما الشكل (12-12) فيبين تغير مقاومة الشد والصلاده والمطيليه مع نسبة التشكيل البارد للسبيكه (CuNi18Zn20).

وكذالك يبين الشكل (12-13) تغير الخواص الميكانيكيه المذكوره في الشكل (12-12) ولكن للسبيكه (CuNi12Zn24) مع نسبة التشكيل البارد.

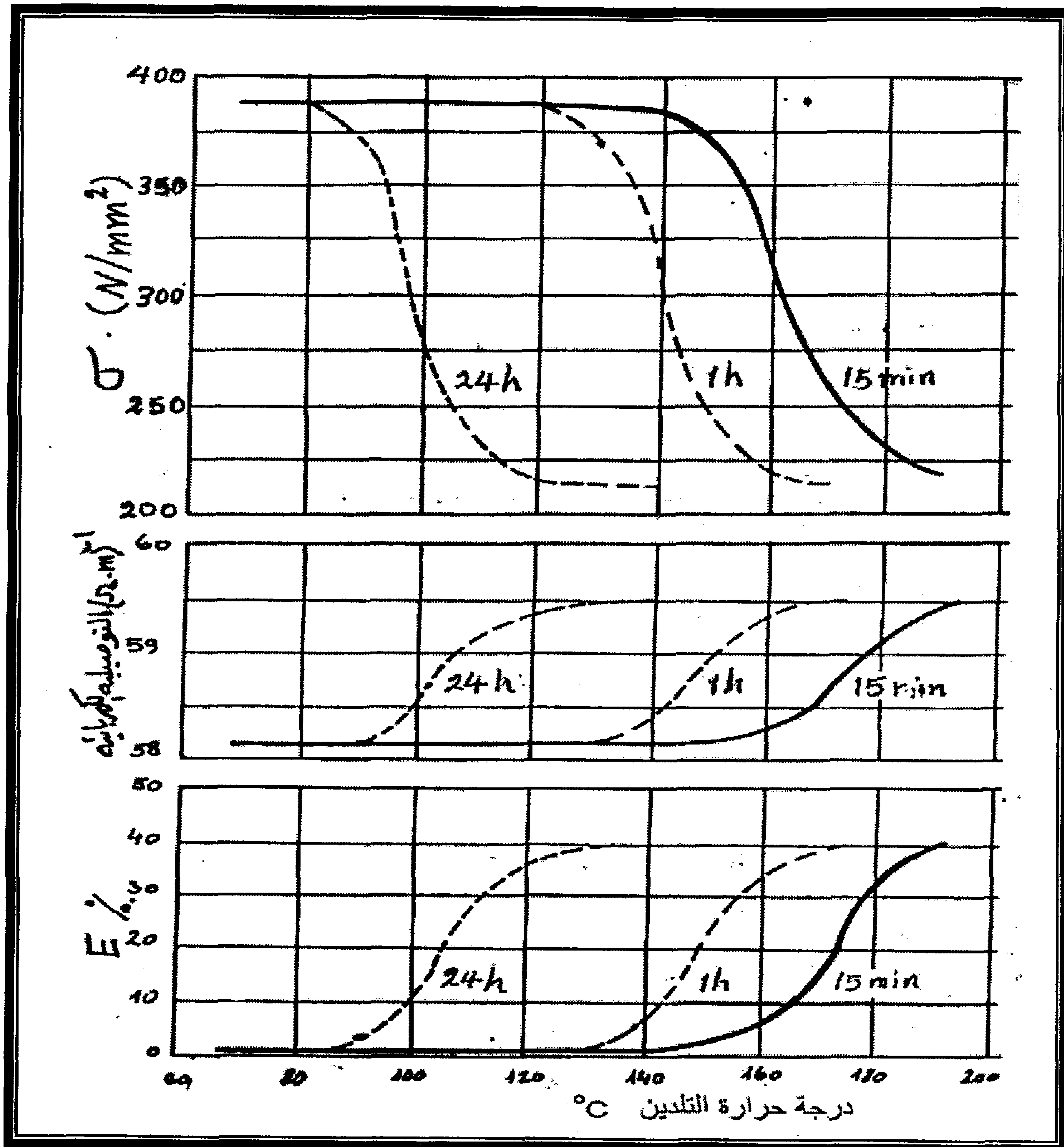
ويعرض الشكل (12-14) تغير الصلاده والمطيليه واجهاد الصمود ومقاومة الشد إضافة الى المقاس الحبيبي مع درجة حرارة التلدين وعند زمن مقداره ساعه واحده للسبيكه (CuZn28Sn1).

وأخيرا يبين الشكل (12-15) تغير مقاومة الشد والمطيليه اضافة الى المقاس الحبيبي مع درجه حراره التلدين وعند زمن ثابت مقداره ساعه واحده للسبيكه (CuZn39.2Sn0.8).



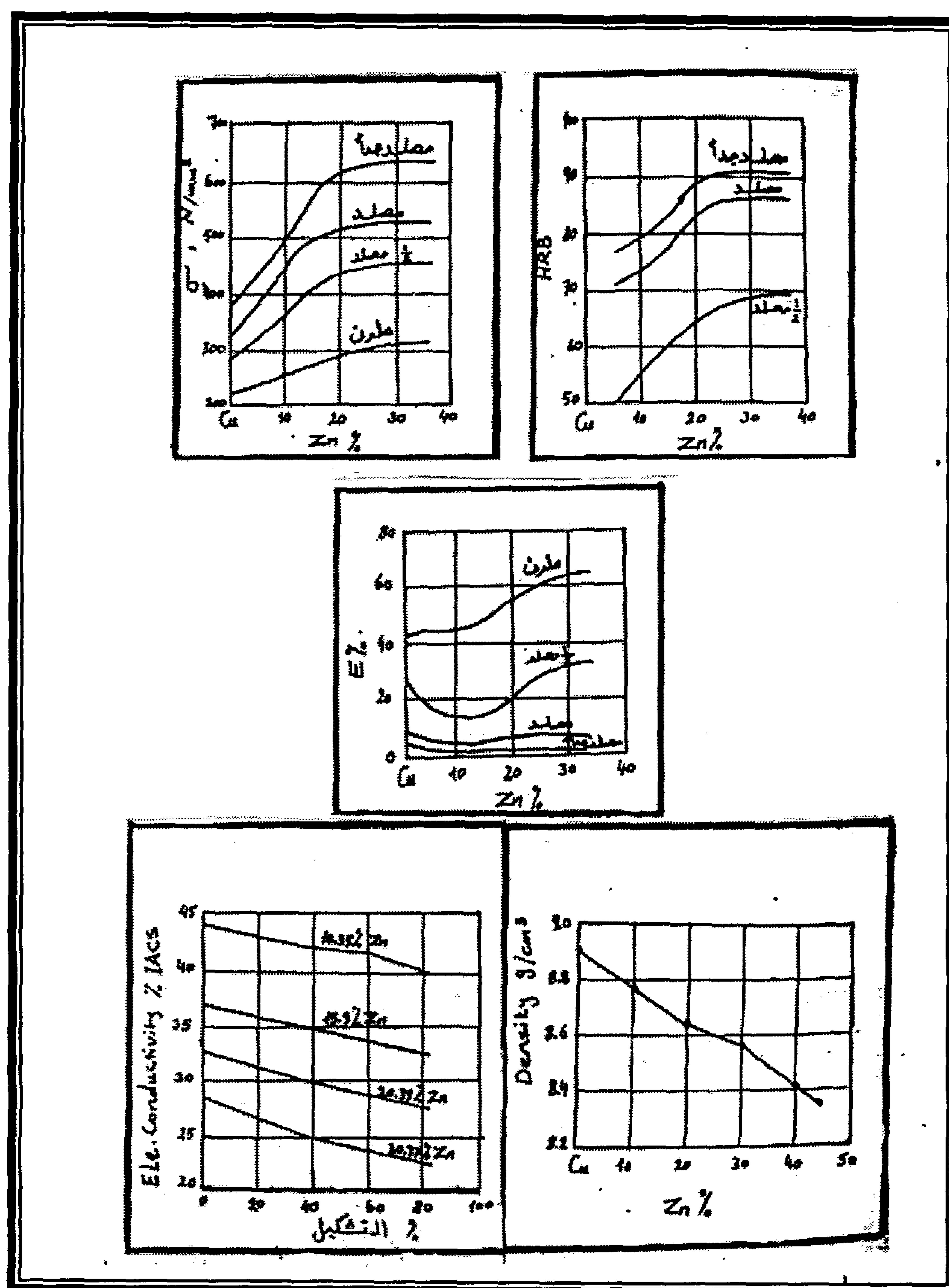
الشكل (12-1)

تغير بعض الخواص الميكانيكية للنحاس مع نسبة التشكيل.



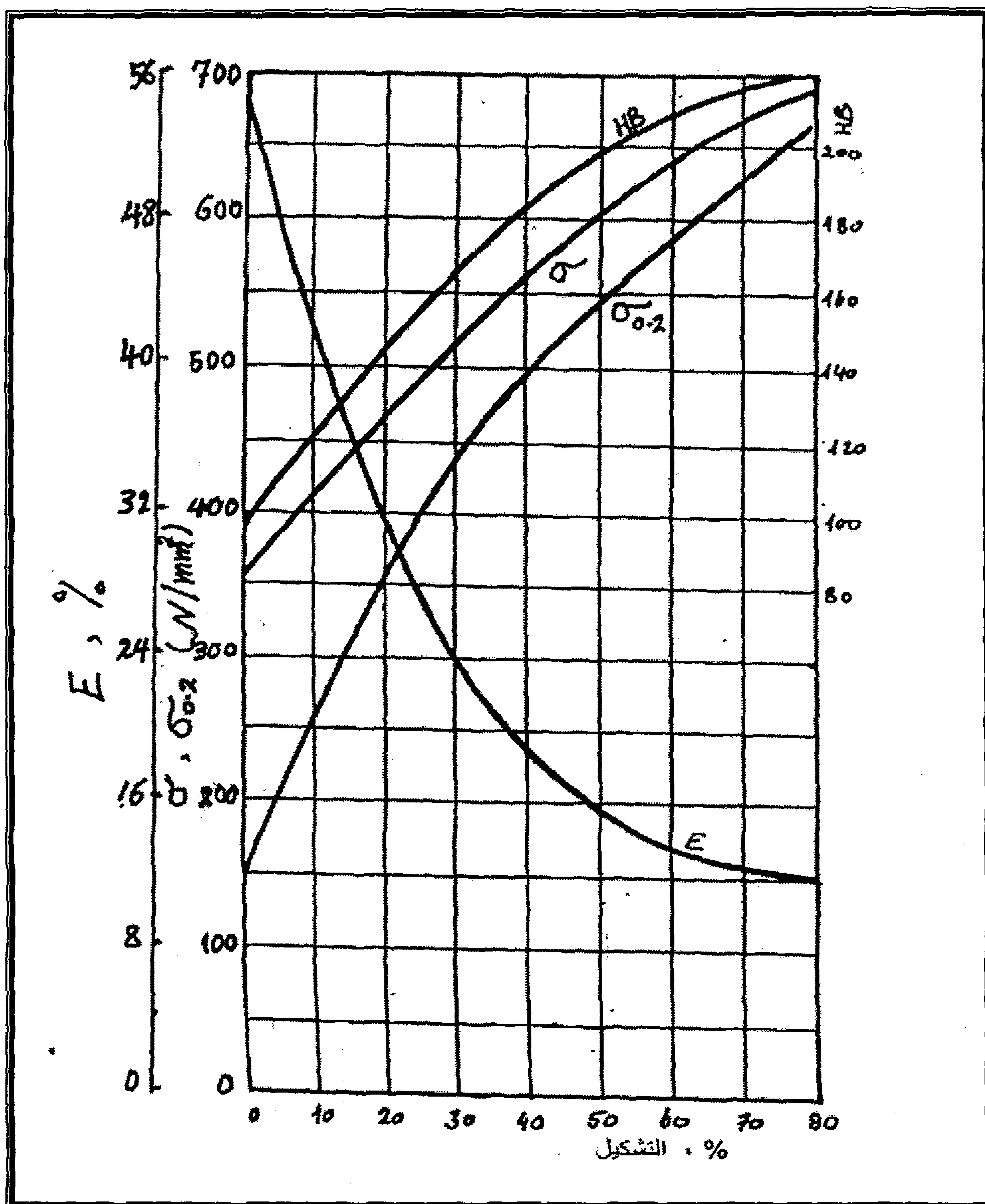
الشكل (2-12)

بعض خواص النحاس عالي التوصيلية E-Cu عند معاملته بدرجات حراره وزمن مختلفين.



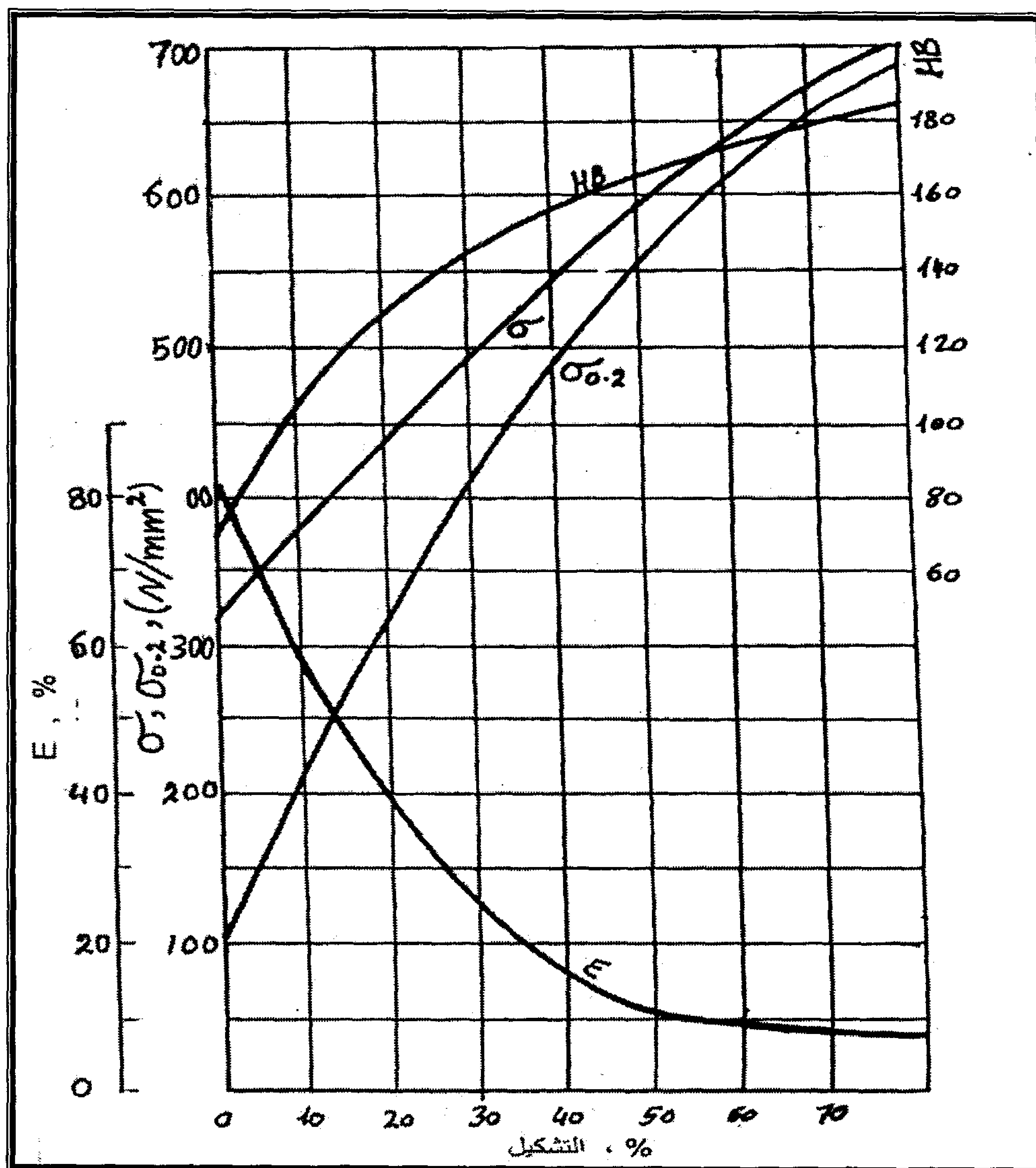
الشكل (3-12)

تغير خواص سبيكة البراص المحتوية على نسب مختلفة من الخارصين.



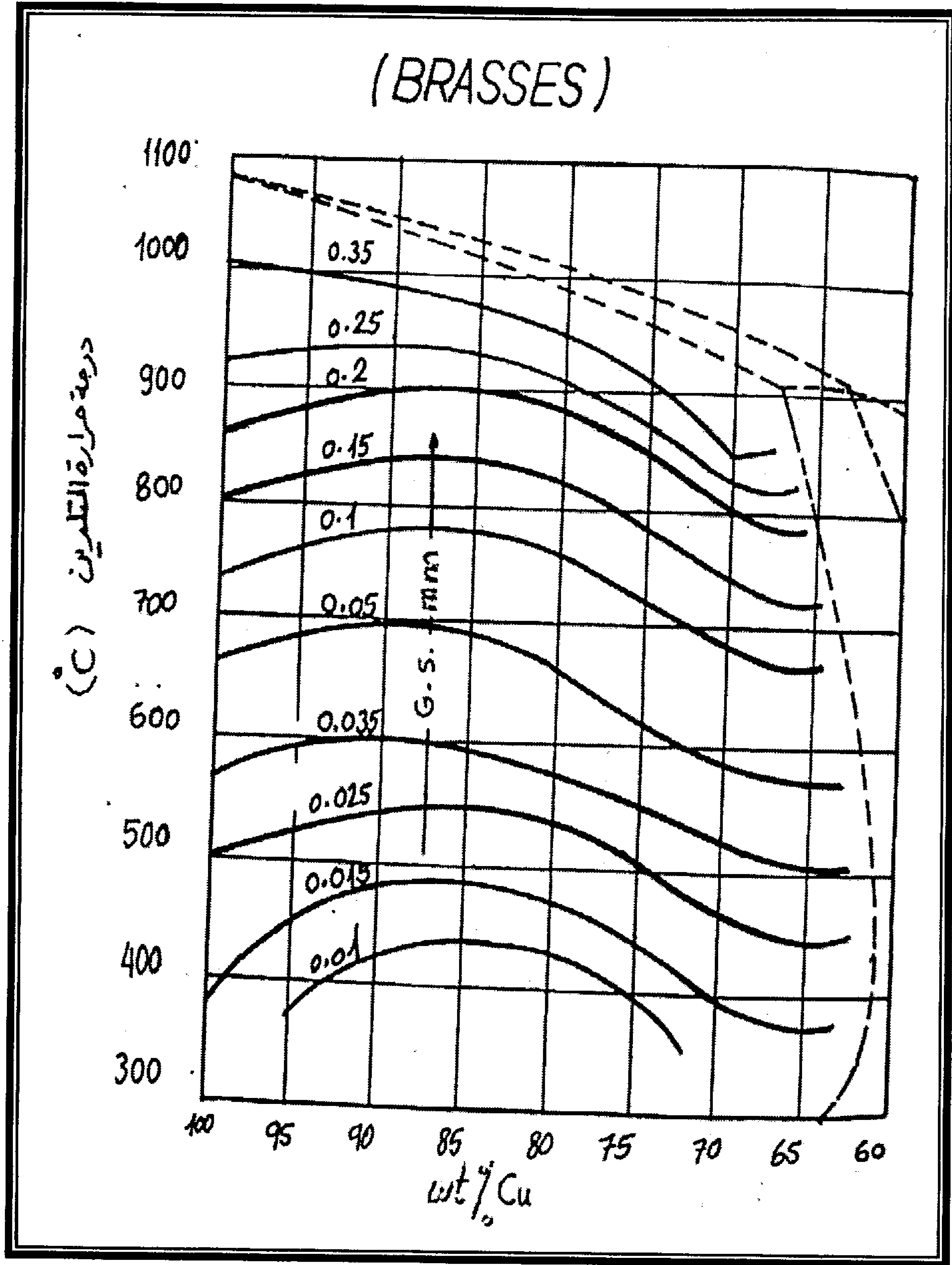
الشكل (12-4)

تغير الخواص الميكانيكية مع التشكيل للبراص 63.



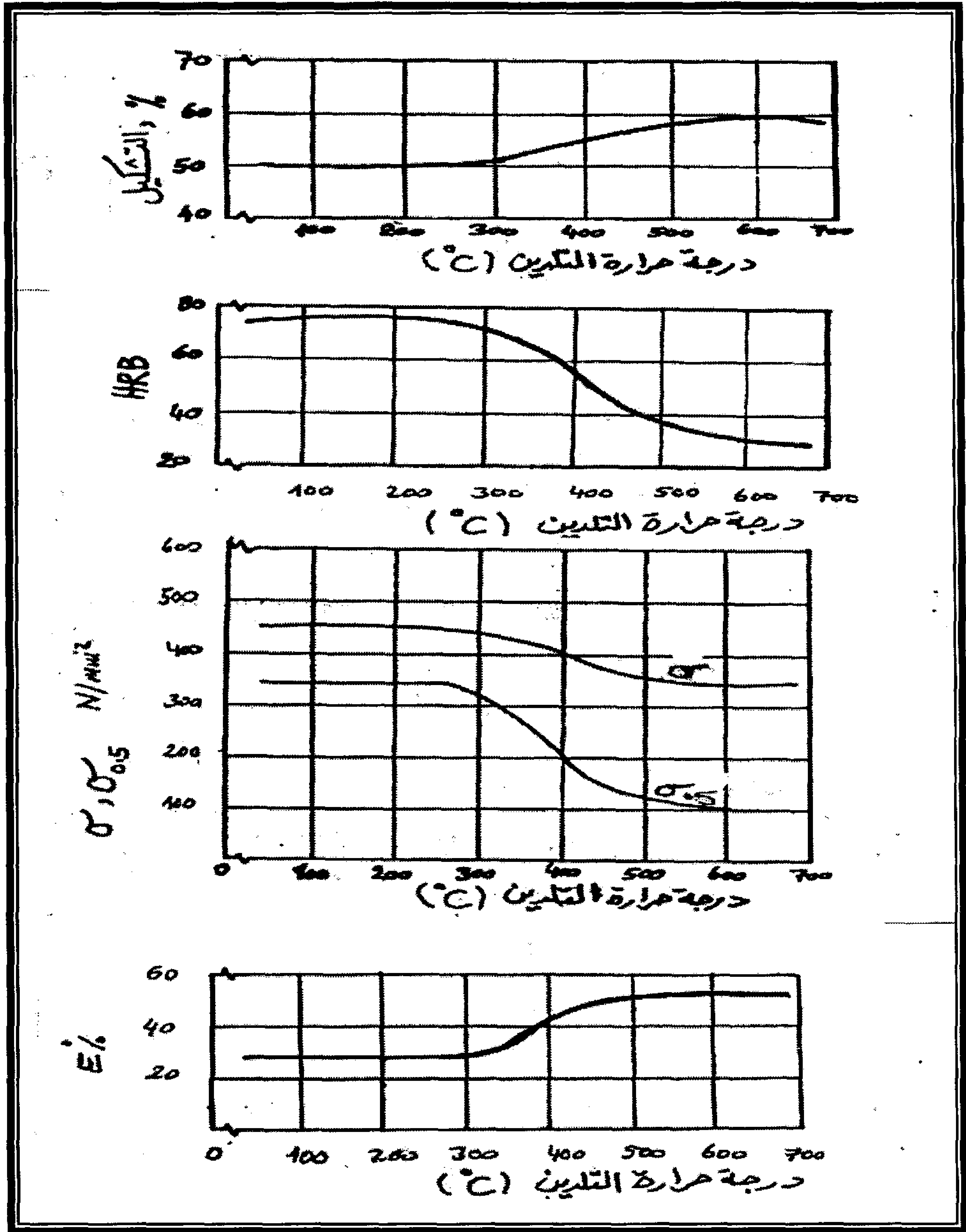
الشكل (12-5)

تغير الخواص الميكانيكية مع التشكيل للبراص 70.



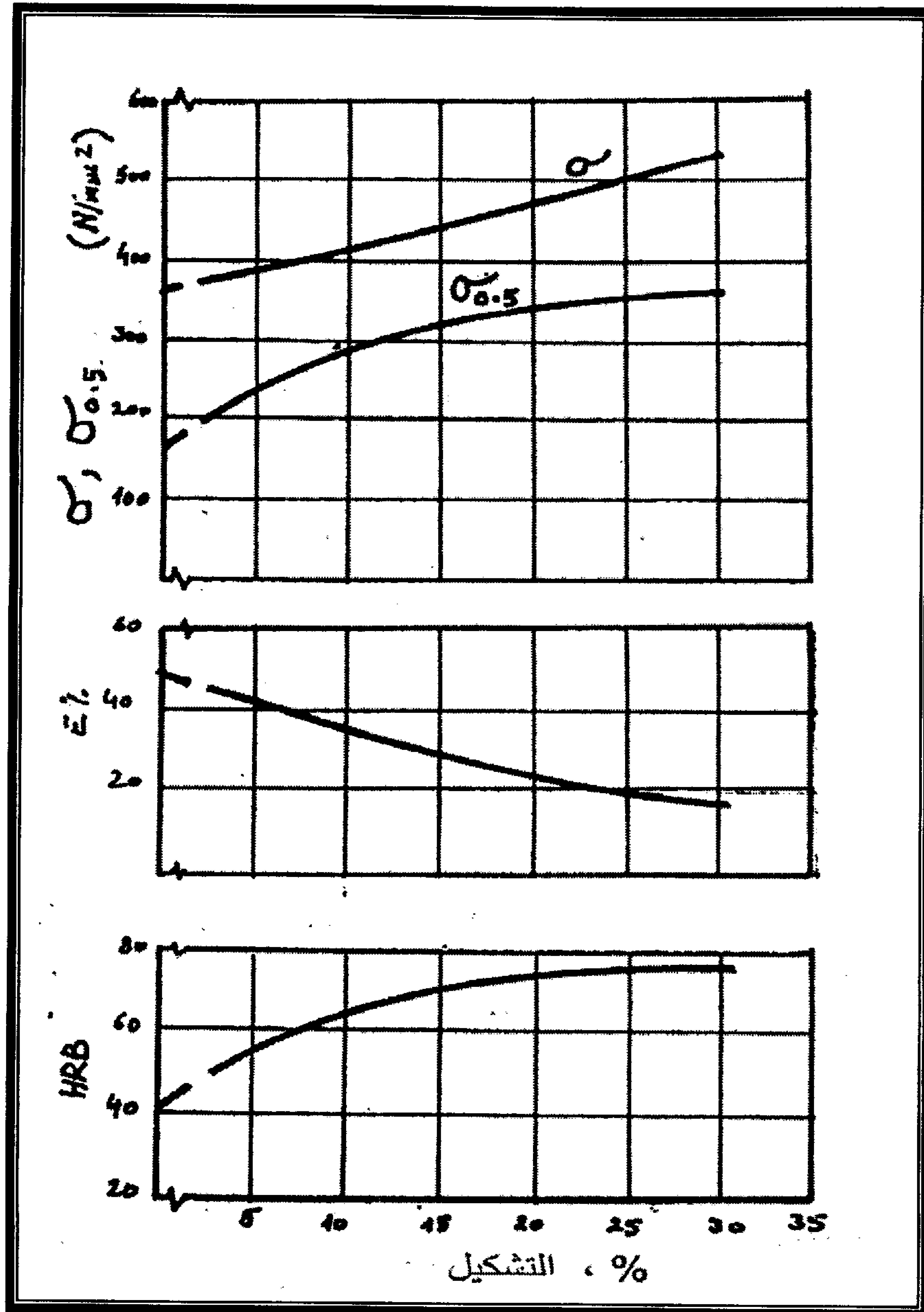
الشكل (12-6)

تغير المقاس الحبيبي لسبائك البراص عند درجات حرارة مختلفة ولمدة مقدارها 30 min.



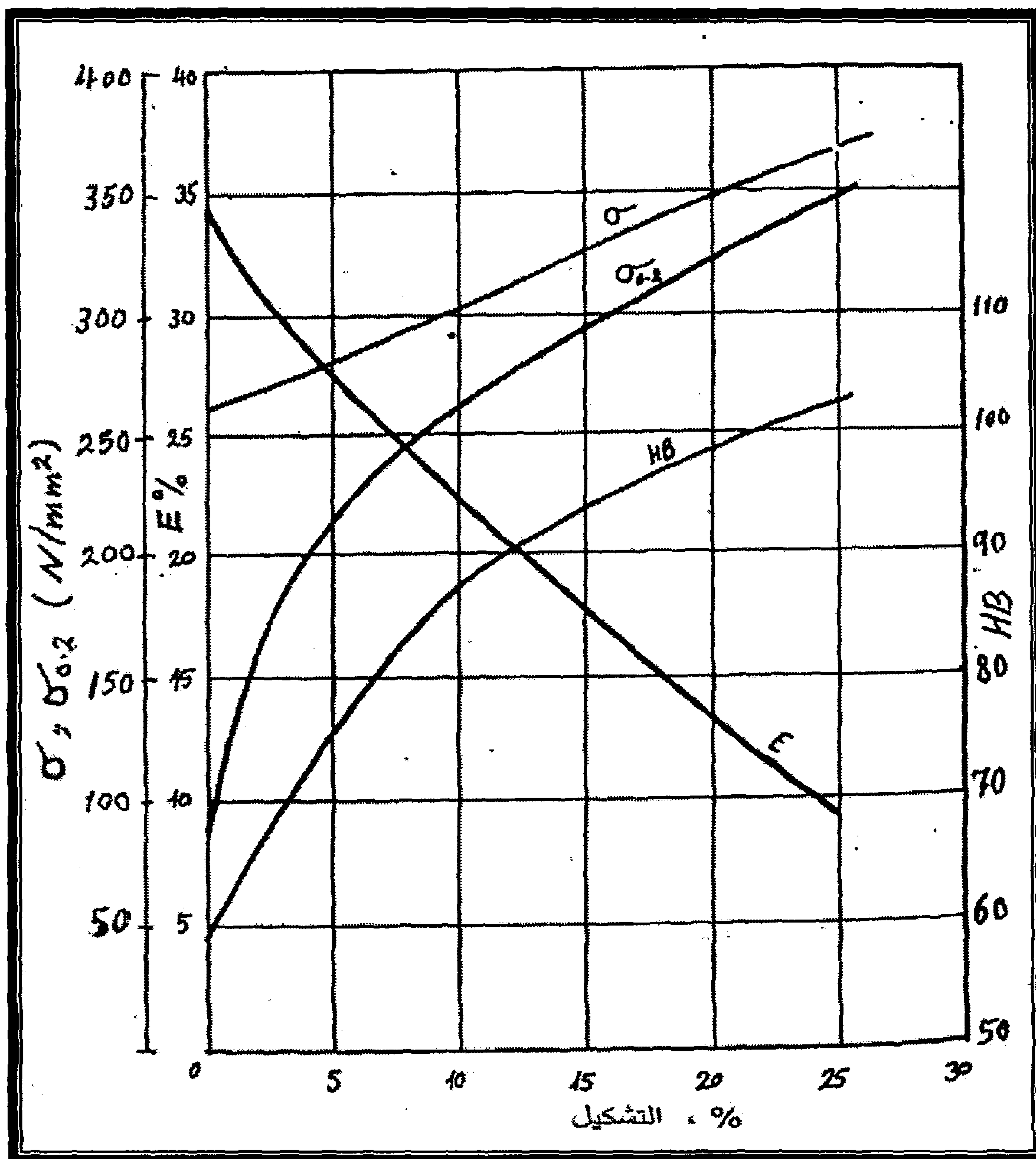
الشكل (12-7)

الخواص الميكانيكية لسبيكة براص رصاص CuZn38Pb2 ملدنة بدرجات حرارة مختلفة وبزمن قدره ساعة واحدة.



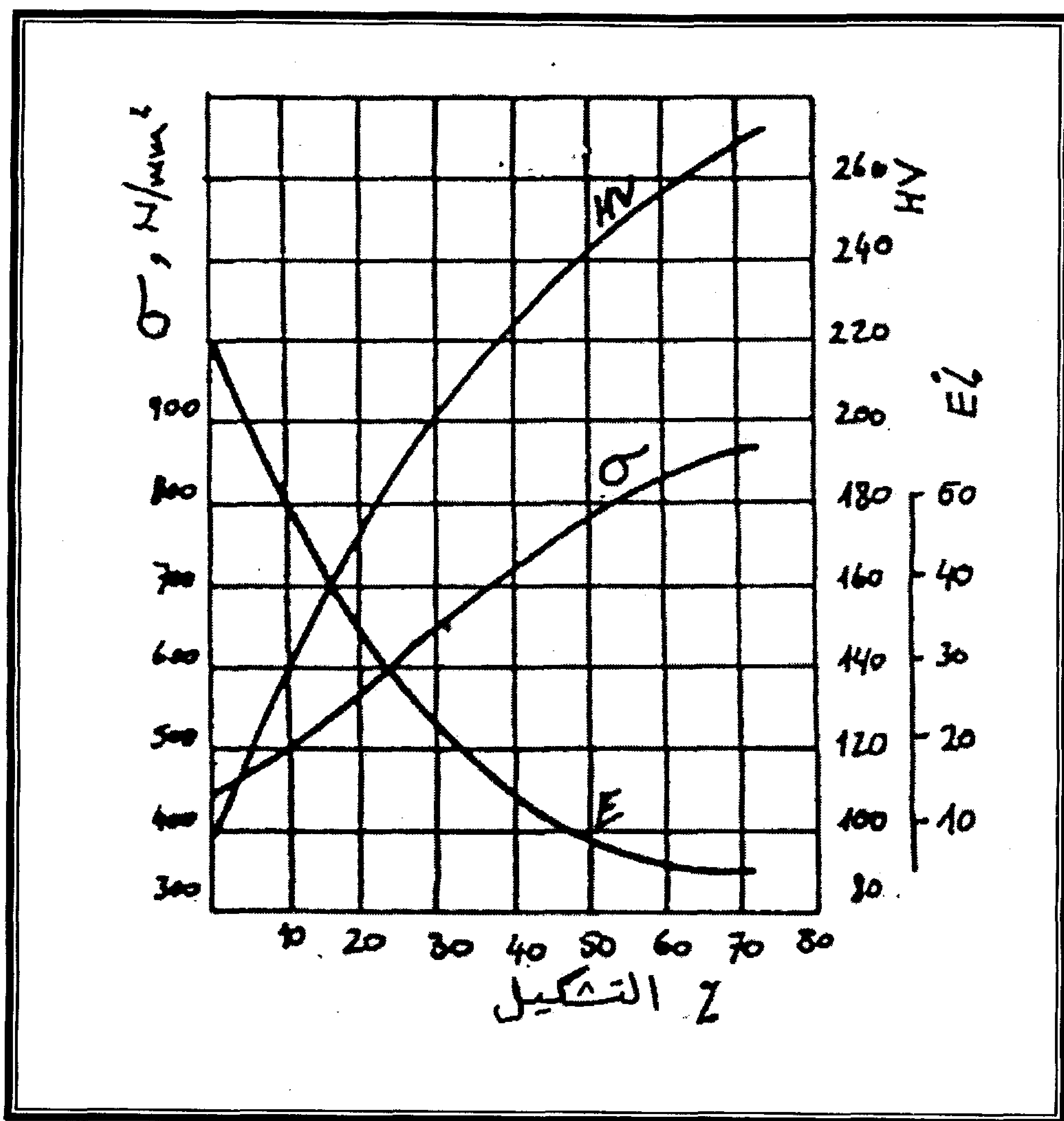
الشكل (12-8)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuZn38Pb2 مع نسبة التشكيل.



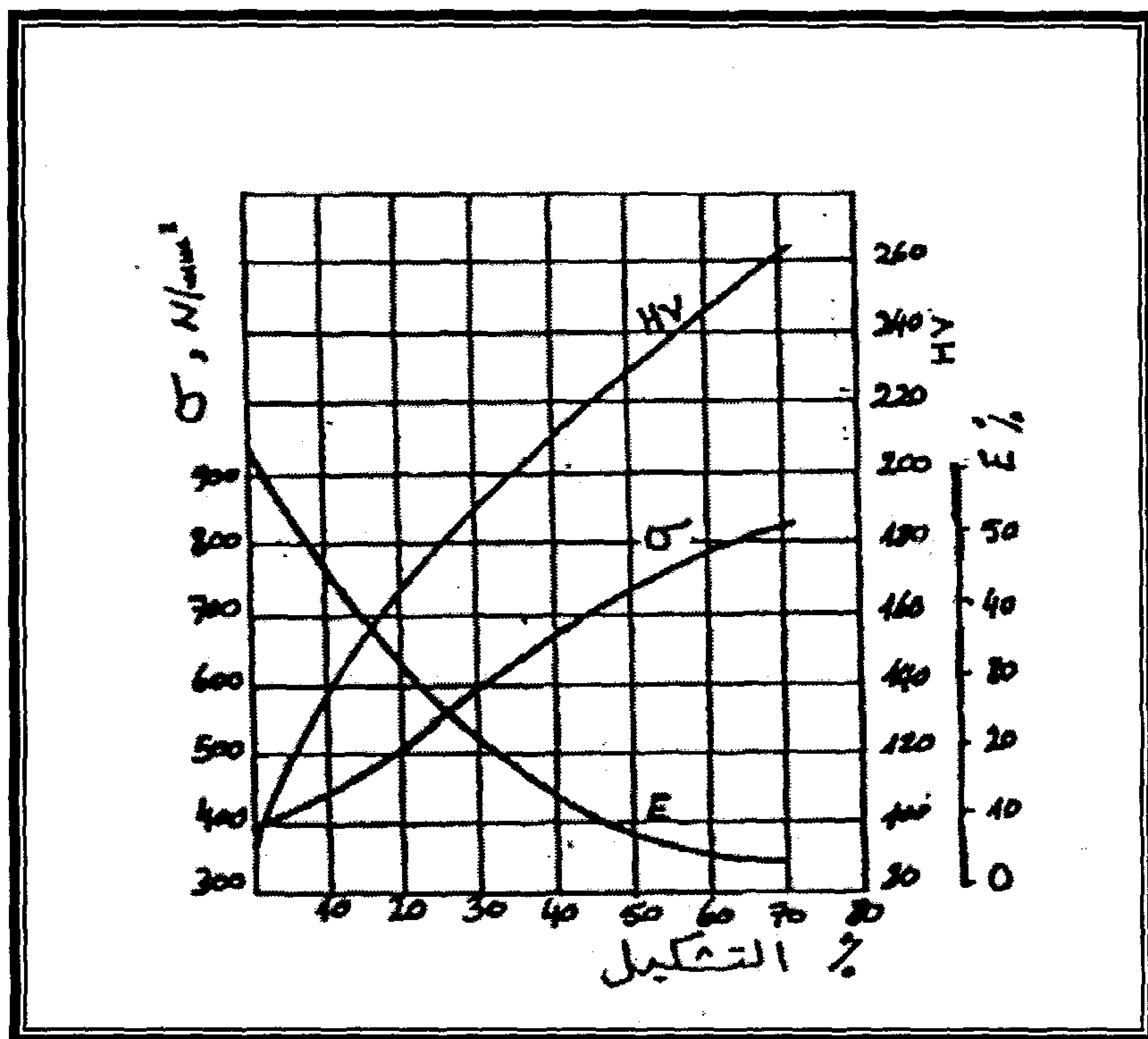
الشكل (12-9)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة نحاس- نيكل CuNi5 مع نسبة التشكيل البارد.



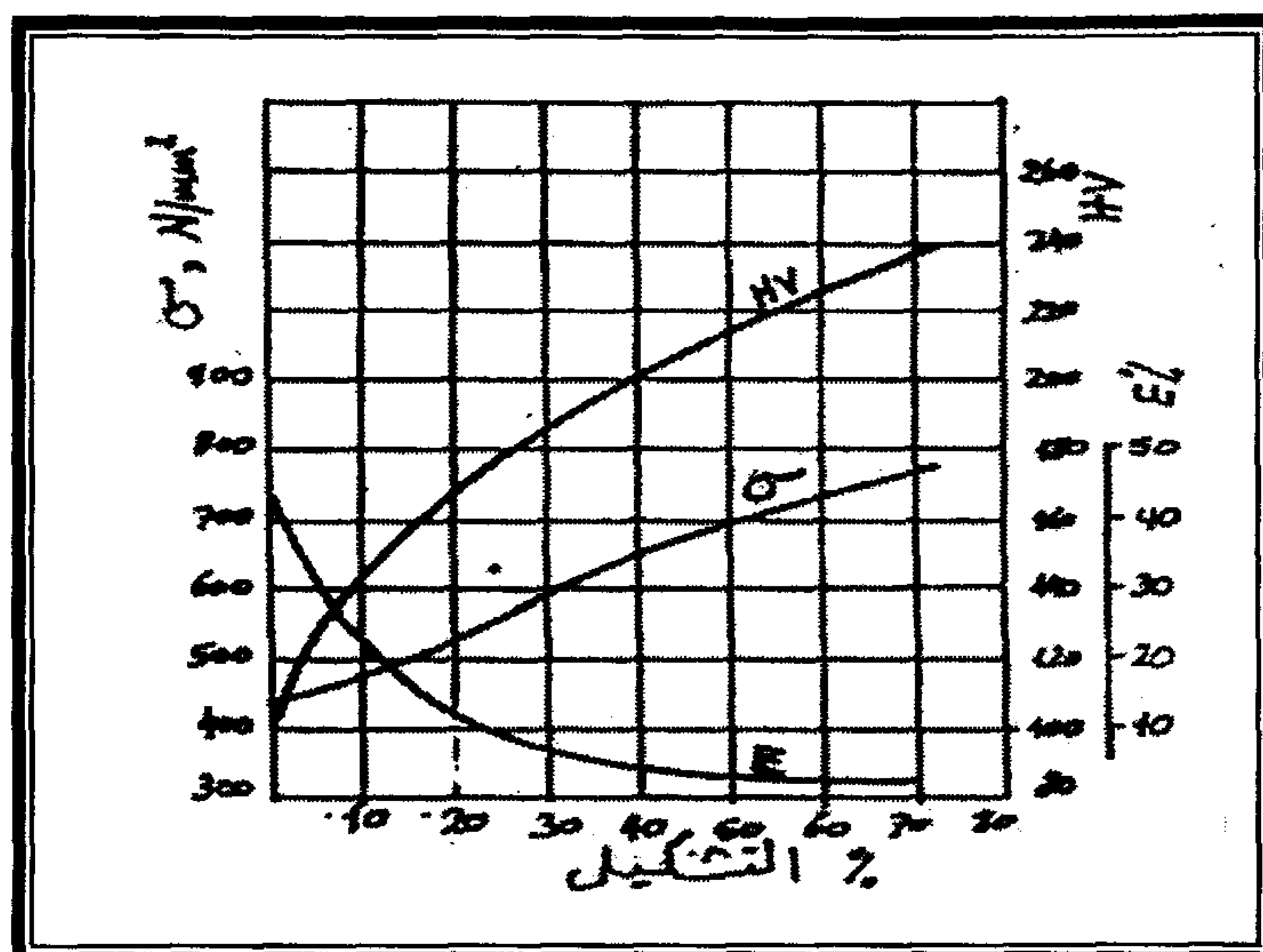
الشكل (12-10)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuSn8 مع نسبة التشكيل.



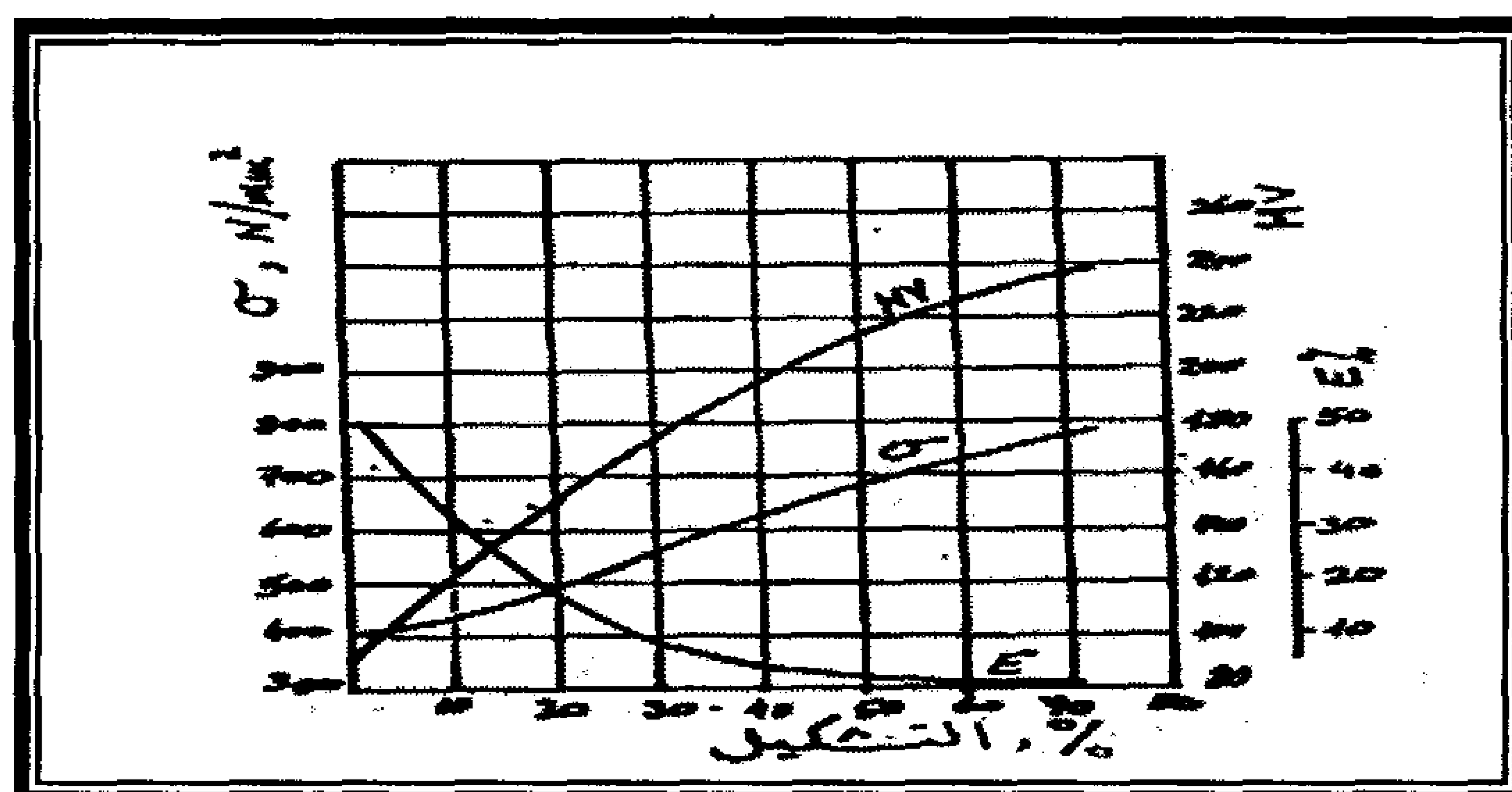
الشكل (12-11)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuSn6 مع نسبة التشكيل.



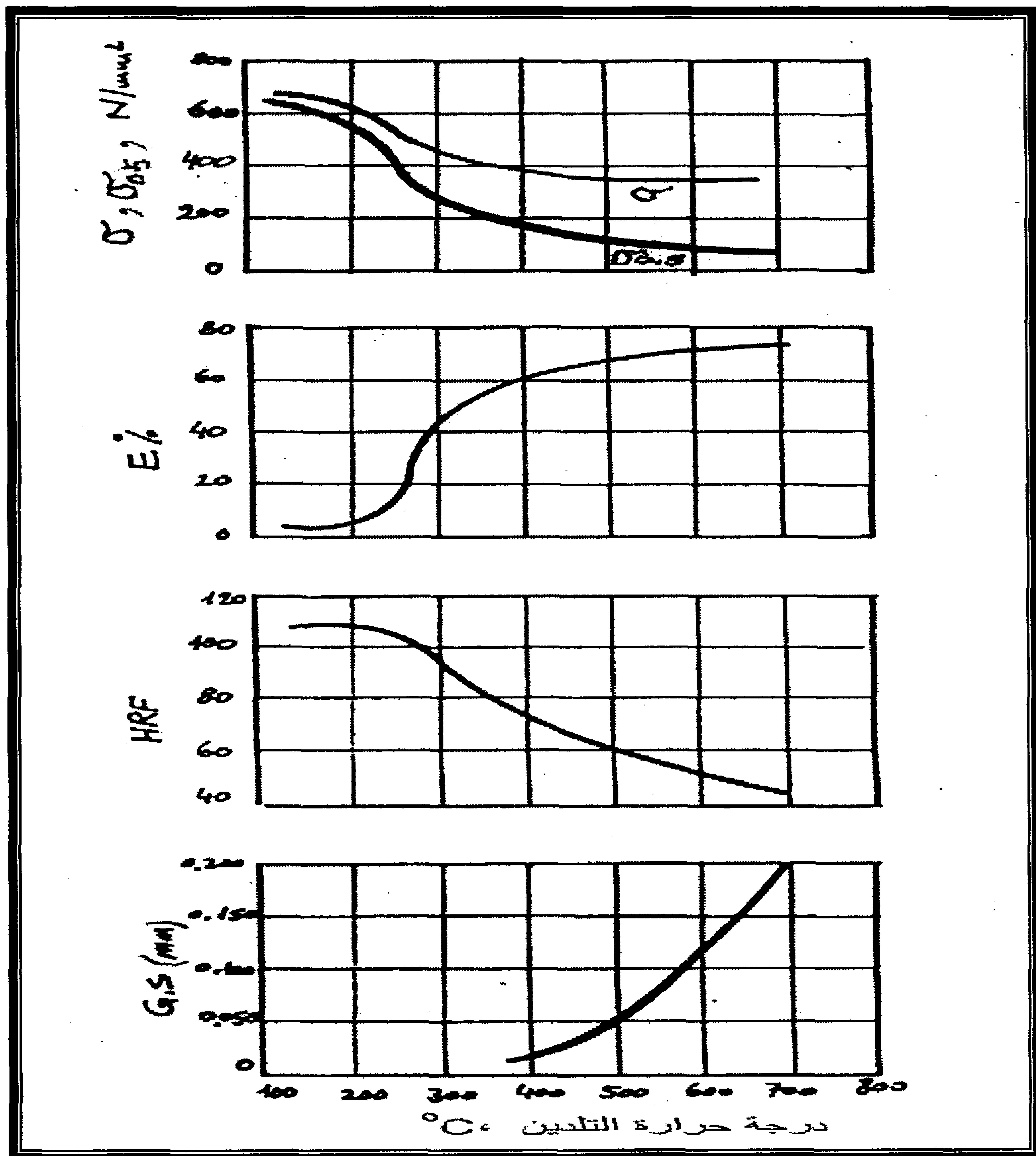
الشكل (12-12)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuNi18Zn20 مع نسبة التشكيل.



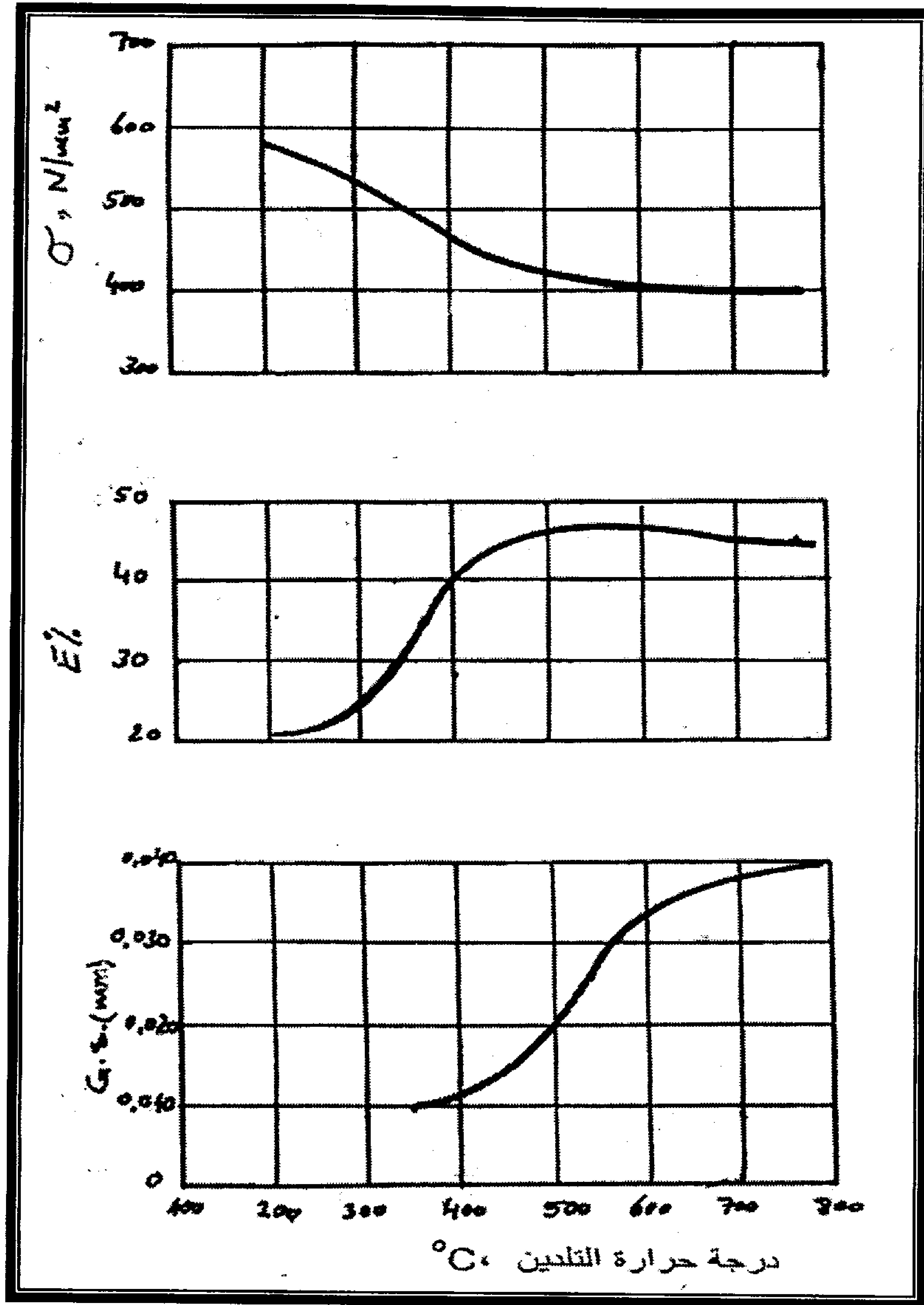
الشكل (12-13)

تغير الخواص الميكانيكية لسبيكة CuNi12Zn24 مع نسبة التشكيل.



الشكل (12-14)

الخواص الميكانيكية لسبيكة CuZn28Sn1 عند درجات حرارة مختلفة ولزمن قدره ساعة واحده.



الشكل (12-15)

تغير بعض الخواص الميكانيكية والمقاس البلوري للسبيكة CuZn39.2Sn0.8 عند درجات حرارة تلدين مختلفة ولزمن ثابت قدره ساعة واحده.

الملحق

ويتضمن ثلاث جداول الاول يتعلق بتحويل الـدرجات الحراريـه الفهرنهايتيـه الى مئويه و الثاني من المئويه الى الفهرنهايتيه و الثالث يتعلق بتحويل الانج الى ملمتر.

الفهرنـهايتية الى المنوية

A : Fahrenheit to Centigrade

	– 0° F.	– 10° F.	– 20° F.	– 30° F.	– 40° F.	– 50° F.	– 60° F.	– 70° F.	– 80° F.	– 90° F.
– 400° F.	– 240.0°C.	– 245.6°C.	– 251.1°C.	– 256.7°C.	– 262.2°C.	– 267.8°C.	. .	. .	. .	. .
– 300° F.	– 184.4	– 190.0	– 195.6	– 201.1	– 206.7	– 212.2	– 217.8	– 223.3	– 228.9	– 234.4
– 200° F.	– 128.9	– 134.4	– 140.0	– 145.6	– 151.1	– 156.7	– 162.2	– 167.8	– 173.3	– 178.9
– 100° F.	– 73.33	– 78.89	– 84.44	– 90.00	– 95.56	– 101.1	– 106.7	– 112.2	– 117.8	– 123.3
0° F.	– 17.78	– 23.33	– 28.89	– 34.44	– 40.00	– 45.56	– 51.11	– 56.67	– 62.22	– 67.78
	0° F.	10° F.	20° F.	30° F.	40° F.	50° F.	60° F.	70° F.	80° F.	90° F.
0° F.	– 17.78°C.	– 12.22°C.	– 6.67°C.	– 1.11°C.	4.44°C.	10.00°C.	15.56°C.	21.11°C.	26.67°C.	32.22°C.
100° F.	37.78	43.33	48.89	54.44	60.00	65.56	71.11	76.67	82.22	87.78
200° F.	93.33	98.89	104.4	110.0	115.6	121.1	126.7	132.2	137.8	143.3
300° F.	148.9	154.4	160.0	165.6	171.7	176.7	182.2	187.8	193.3	198.9
400° F.	204.4	210.0	215.6	221.1	226.7	232.2	237.8	243.3	248.9	254.4
500° F.	260.0	265.6	271.1	276.7	282.2	287.8	293.3	298.9	304.4	310.0
600° F.	315.6	321.1	326.7	332.2	337.8	343.3	348.9	354.4	360.0	365.6
700° F.	371.1	376.7	382.2	387.8	393.3	398.9	404.4	410.0	415.6	421.1
800° F.	426.7	432.2	437.8	443.3	448.9	454.4	460.0	465.6	471.1	476.7
900° F.	482.2	487.8	493.3	498.9	504.4	510.0	515.6	521.1	526.7	532.2
1000° F.	537.8	543.3	548.9	554.4	560.0	565.6	571.1	576.7	582.2	587.8
1100° F.	593.3	598.9	604.4	610.0	615.6	621.1	626.7	632.2	637.8	643.3
1200° F.	648.9	654.4	660.0	665.6	671.1	676.7	682.2	687.8	693.3	698.9
1300° F.	704.4	710.0	715.6	721.1	726.7	732.2	737.8	743.3	748.9	754.4
1400° F.	760.0	765.6	771.1	776.7	782.2	787.8	793.3	798.9	804.4	810.0
1500° F.	815.6	821.1	826.7	832.2	837.8	843.3	848.9	854.4	860.0	865.6
1600° F.	871.1	876.7	882.2	887.8	893.3	898.9	904.4	910.0	915.6	921.1
1700° F.	926.7	932.2	937.8	943.3	948.9	954.4	960.0	965.6	971.1	976.7
1800° F.	982.2	987.8	993.3	998.9	1004.4	1010.0	1015.6	1021.1	1026.7	1032.2
1900° F.	1037.8	1043.3	1048.9	1054.4	1060.0	1065.6	1071.1	1076.7	1082.2	1087.8
	0° F.	100° F.	200° F.	300° F.	400° F.	500° F.	600° F.	700° F.	800° F.	900° F.
2000° F.	1093.3°C.	1148.9°C.	1204.4°C.	1260.0°C.	1315.6°C.	1371.1°C.	1426.7°C.	1482.2°C.	1537.8°C.	1593.3°C.
3000° F.	1648.9	1704.4	1760.0	1815.6	1871.1	1926.7	1982.2	2037.8	2093.3	2148.9
4000° F.	2204.4	2260.0	2315.6	2371.1	2426.7	2482.2	2537.8	2593.3	2648.9	2704.4
5000° F.	2760.0	2815.6	2871.1	2926.7	2982.2	3037.8	3093.3	3148.9	3204.4	3260.0
6000° F.	3315.6	3371.1	3426.7	3482.2	3537.8	3593.3	3648.9	3704.4	3760.0	3815.6

الفروقات

Differences

1° F.	0.56°C.
2° F.	1.11°C.
3° F.	1.67°C.
4° F.	2.22°C.
5° F.	2.78°C.
6° F.	3.33°C.
7° F.	3.89°C.
8° F.	4.44°C.
9° F.	5.00°C.

الفهرنـهايتية الى المنوية

لفروقات 10، 20، 30 °F ....

تضرب القيمه المعطاة بعشره.

أمثله لتحويل °F الى منويه °C :

-126°F = -120 -6°F

=-84.44 -3.33°C = -87.8°C

452°F = 450 +2°F

232.2+1.11°C =233.3°C

2870°F =2800 +70°F

1537.8 +38.9°C =1576.7°C

جدول تحويل درجات الحرارة الفهرنهايتية الى درجات مئوية (سليسيوس).

المئوية الى الفهرنهايتيه

B : Centigrade to Fahrenheit

	– 0° C.	– 10° C.	– 20° C.	– 30° C.	– 40° C.	– 50° C.	– 60° C.	– 70° C.	– 80° C.	– 90° C.
– 200° C.	– 328° F.	– 346° F.	– 364° F.	– 382° F.	– 400° F.	– 418° F.	– 436° F.	– 454° F.	. . .	. .
– 100° C.	– 148	– 166	– 184	– 202	– 220	– 238	– 256	– 274	– 292	– 310
0° C.	+ 32	+ 14	– 4	– 22	– 40	– 58	– 76	– 94	– 112	– 130
	0° C.	**10° C.**	**20° C.**	**30° C.**	**40° C.**	**50° C.**	**60° C.**	**70° C.**	**80° C.**	**90° C.**
0° C.	32°F.	50°F.	68°F.	86° F.	104° F.	122° F.	140° F.	158° F.	176° F.	194° F.
100° C.	212	230	248	266	284	302	320	338	356	374
200° C.	392	410	428	446	464	482	500	518	536	554
300° C.	572	590	608	626	644	662	680	698	716	734
400° C.	752	770	788	806	824	842	860	878	896	914
500° C.	932	950	968	986	1004	1022	1040	1058	1076	1094
600° C.	1112	1130	1148	1166	1184	1202	1220	1238	1256	1274
700° C.	1292	1310	1328	1346	1364	1382	1400	1418	1436	1454
800° C.	1472	1490	1508	1526	1544	1562	1580	1598	1616	1634
900° C.	1652	1670	1688	1706	1724	1742	1760	1778	1769	1814
	0° C.	**100° C.**	**200° C.**	**300° C.**	**400° C.**	**500° C.**	**600° C.**	**700° C.**	**800° C.**	**900° C.**
1000° C.	1832° F.	2012° F.	2192° F.	2372° F.	2552° F.	2732° F.	2912° F.	3092° F.	3272° F.	3452° F.
2000° C.	3632	3812	3992	4172	4352	4532	4712	4892	5072	5252
3000° C.	5432	5612	5792	5972	6152	6332	6512	6692	6872	7052

الفروقات

Differences

1° C.	1.8° F.
2° C.	3.6° F.
3° C.	5.4° F.
4° C.	7.2° F.
5° C.	9.0° F.
6° C.	10.8°F
7° C.	12.6°F
8° C.	14.4°F
9° C.	16.2°F

المئويه الى فهرنهايتيه

لفروقات 10و 20و30°C.....تضرب القيمه المعطاة بعشرة .

أمثلة : لتحويل C°الى فهرنهايتيه F°:-

$$-156^{\circ}C = (-150 - 6)^{\circ}C$$
$$= (-238 -10.8)^{\circ}F = -248.8^{\circ}F$$
$$784^{\circ}C = (780 + 4)^{\circ}C$$
$$= (1436 + 7.2)^{\circ}F=1443.2^{\circ}F$$
$$1650^{\circ}C= (1600 + 50)^{\circ}C$$
$$= (2912 + 90)^{\circ}F =3002^{\circ}F$$

جدول تحويل درجات الحرارية المئوية (سليسيوس) الى فهرنهايتية.

Inch and millimetre decimal equivalents of fractions of an inch

in.			in.		
Fraction	Decimal	mm	Fraction	Decimal	mm
1/64	0.015 625	0.396 875	33/64	0.515 625	13.096 875
1/32	0.031 250	0.793 750	17/32	0.531 250	13.493 750
3/64	0.046 875	1.190 625	35/64	0.546 875	13.890 625
1/16	0.062 500	1.587 500	9/16	0.562 500	14.287 500
5/64	0.078 125	1.984 375	37/64	0.578 125	14.684 375
3/32	0.093 750	2.381 250	19/32	0.593 750	15.081 250
7/64	0.109 375	2.778 125	39/64	0.609 375	15.478 125
1/8	0.125 000	3.175 000	5/8	0.625 000	15.875 000
9/64	0.140 625	3.571 875	41/64	0.640 625	16.271 875
5/32	0.156 250	3.968 750	21/32	0.656 250	16.668 750
11/64	0.171 875	4.365 625	43/64	0.671 875	17.065 625
3/16	0.187 500	4.762 500	11/16	0.687 500	17.462 500
13/64	0.203 125	5.159 375	45/64	0.703 125	17.859 375
7/32	0.218 750	5.556 250	23/32	0.718 750	18.256 250
15/64	0.234 375	5.953 125	47/64	0.734 375	18.653 125
1/4	0.250 000	6.350 000	3/4	0.750 000	19.050 000
17/64	0.265 625	6.746 875	49/64	0.765 625	19.446 875
9/32	0.281 250	7.143 750	25/32	0.781 250	19.843 750
19/64	0.296 875	7.540 625	51/64	0.796 875	20.240 625
5/16	0.312 500	7.937 500	13/16	0.812 500	20.637 500
21/64	0.328 125	8.334 375	53/64	0.828 125	21.034 375
11/32	0.343 750	8.731 250	27/32	0.843 750	21.431 250
23/64	0.359 375	9.128 125	55/64	0.859 375	21.828 125
3/8	0.375 000	9.525 000	7/8	0.875 000	22.225 000
25/64	0.390 625	9.921 875	57/64	0.890 625	22.621 875
13/32	0.406 250	10.318 750	29/32	0.906 250	23.018 750
27/64	0.421 875	10.715 625	59/64	0.921 875	23.415 625
7/16	0.437 500	11.112 500	15/16	0.937 500	23.812 500
29/64	0.453 125	11.509 375	61/64	0.953 125	24.209 375
15/32	0.468 750	11.906 250	31/32	0.968 750	24.606 250
31/64	0.484 375	12.303 125	63/64	0.984 375	25.003 125
1/2	0.500 000	12.700 000	1	1.000 000	25.400 000

جدول يتضمن تحويل الانج وأجزاءه الى المليميتر(mm)

المصادر

1- ASM، Metals Handbook، 10th edition، vol. 6، Welding، Brazing and Soldering، 6th Printing، 2003.

2- ASM، Metals Handbook، vol.2، Properties and Selection: Non Ferrous Alloys and pure Metals، 5th printing، 1998.

3- Harry Chandler، Metallurgy for non-Metallurgist، ASM International، 1998.

4- AWS، Welding Handbook، vol. 2، 7th edition، 1978.

5- AWS، Copper and Copper Alloys، 1972.

6- D.J. Davies and L.A. Oelman، Metallurgical Processes and Production Technology، Pitman Publisher Ltd. 1985.

7- G.W. Rowe، Principle of Industerial Metallworking Processes، Edward Arnold Publisher Ltd. Reprinted 1986.

8- Klaue – H. Stenger، Extrusion Process، Machinery، Tooling، ASM، 1981.

9- A.J. Tselicove and V.I. Zyuin، Translated from Russian by G. Leib، Modern Development of Rolling Mills، Mir Publisher ،USSR. 1975.

10- Eric A. Brands، Smithells Metals Reference book 8th edition in Association with Fulmer Research Instituite Ltd. Butter worth and Co. Publisher Ltd. 2004.

11- DIN Standard for Copper and it's Alloys Composition and Properties، 1983

12- The Brasses Technical Data، Copper Development Association، England، TN 26.

13- Machining of Copper and it's Alloys، Copper Development Association، England TN3.

14- P.T. Gilbert and E.B. Lockyer، The manufacture and use of Copper Alloys Tubes، Presented at a Symposium on "Wrought Copper Materials" Held at Bombay on 8-9th، December1972.

15- R.D. Carter and W.H. Stewart، The Extrusion of Copper Alloys for Tube Manufacturing Australian Instituite of Metals، Presented at 19 th Annual Conference Port Kembla، 1966.

16- Basic Training Material for Non-Ferrous Metals in the Universities of Europe، 1982-1983.

17- J.T.Al-Haidary and A.A.Al-Jamali، "The Influence Of Grain Size on Some Mechanical Properties of α-Brass (70-30). Eng. and Tech.J. vol. 7، No.3، P.45، 1989.

18- Technical Report of Sundwiger – Alloy Sundwiger Messing-werk Division of Messrs-Diehle. Nuvemberg-Germany.

19- Copper – Zinc Phase Diagram Chart، Prepared by Struers Scientific Instrument – Denmark.

20- Akira Asari Kobe Steel Ltd.، Development and Improvement of Extrusion of Non-ferrous Metals، Parts 1 and 2.

21- E. Her mann، The Proceeding of 11th International Extraction Conference، P.63، 1982.

22- المعادن بنيتها و خواصها و معاملاتها الحرارية، د.ج. ديفيز و ل.أ. أويلمان، ترجمة د. جعفر الحيدري و عدنان نعمة، الجامعة التكنولوجية 1989.

23- مباديء هندسة المعادن و المواد، ف. بيلي، ترجمة د.حسين رحمة الله، جامعة الموصل/ العراق، 1982.

24- طرق التصنيع و العمليات، د. أحمد الخطيب و خالد أيوب، جامعة الموصل 1981.

25- تكنولوجيا الصناعات التعدينية في الوطن العربي، وزارة الثقافة و ألاعلام/ العراق- 1980.

26- إستخلاص المعادن اللاحديدية، د.إبراهيم محمود منصور و نوال عزت عبد اللطيف، الجامعة التكنولوجية – بغداد – العراق – 1990.

المصطلحات العلمية وما يقابلها بالعربية

A	
Acicular	إبري
Age hardening	التصليد بالتعتيق
Aging	تعتيق
Alkaline solution	محاليل قاعدية
Alloying element	عناصر سبيكية (سبيكة)
Aluminum brass	براص الالمنيوم
Aluminum bronze	برونز الالمنيوم
American society for metals (ASM)	الجمعية الامريكية للمعادن
American welding society (AWS)	جمعية اللحام الامريكية
Amorphous	لابلوري
Anisotropy	تباين (الخواص بأختلاف الاتجاه)
Annealing	تلدين
Anode	المصعد (القطب الموجب)
Atmospherical exposure	التعرض للجو
Atomic absorption	الامتصاص الذري
Automation	أتمته

B	
Back end defect	عيوب النهايات (في عملية البثق)
Back hand	منجز بحيث تكون فيه راحة اليـد مماثلـه بعكس اتجاه حركة اليد
Backing methods	طرائق الاسناد الخلفي (الظهارة)
Back up rolls	المدرفلات الساندة
Base metal	المعدن الاساس
Bead	عقدة،درزة
Bearings	مرتكزات
Billet	كتلة مسبوكه من معدن
Bimetal tubes	أنابيب ثنائية المعدن
Blister copper	نحاس منقط
Body centered cubic (bcc)	مكعب متمركز الجسم
Batch	حزمة (من المنتجات او الاجزاء)
Boilers	مراجل
Bolster	حامل أسفل القالـب في مكـائن البثـق والتخريم
Boring machine	ماكنة توسيع الثقوب
Brass	براص،نحاس أصفر

Brazing	التبريص
Braze welding	لحام المونه
Brittleness	هشاشية
Bronze	برونز
Burnished area	منطقه لماعه (صقيله)
Bus bar	قضيب موصّل
Bush	جلبه، نخاس، بطانه معدنيه
Butt welding	لحام تناكي
Bucket	دلو
C	
Cable	قابلو
Cams	كامات، حدبات
Cantilever	الكابول (دعامه مثبتة من طرف واحد)
Car radiators	مشعات السيارات
Casting	سباكه
Cast iron	حديد الزهر
Casting defects	عيوب سباكه
Carbide tools	عُدد (سكاكين) كاربيديه
Carbon steel	فولاذ كاربوني

Cantilever type spring	نوابض من النوع الكابولي
Cartridge brass	براص الخراطيش
Charge	شحنه
Charging materials	مواد شحن
Chattering	إصطكاك، إهتزاز عالي التردد
Chimony stack	مجمع مواسير المداخن
Chip	نحاته، رقاقه، (رايش)
Clad	كساء، غلاف
Cladded metals	معادن مكسيه
Characterization	تشخيص، وصف
Clearance	خلوص
Clips	مشابك (لضم الاوراق الى بعضها)
Coil	ملف، لفافه
Cold drawing	سحب بارد، سحب على البارد
Cold rolling	درفله باردة، درفله على البارد
Cold working =Cold deformation	تشكيل بارد، تشكيل على البارد
Communication	شبكة تلفون (إتصالات)
Compound oils	زيوت مركبه
Concentration	تركيز
Condensation	تكثيف

Condensers	مكثفات
Conductivity	توصيليه، موصليه
Container	حاويه
Container holder	حامل الحاويه
Contamination	تلوث
Continuous casting	السباكه المستمرة
Conveyer	جهاز (حزام) ناقل
Corrosion	تآكل
Corrosion fatigue	كلال تآكلي
Corrosion rate	معدل التآكل
Corrosion resistance	مقاومة التآكل
Corrosive materials	مواد آكاله
Copper	نحاس
Copper- Nickel alloy	سبيكة نحاس –نيكل
Creep	زحف
Cross sectional rolling	درفلة المقاطع
Cutting	قطع
Cutting fluids	سوائل قطع
Cutting tools	سكاكين (عدد) قطع
Cup	فنجان

Cuprous oxide	أوكسيد النحاسوز
Copper Development Association (CDA)	جمعية تطوير النحاس
Crucible	بوتقه
D	
De alloying	نزع مكونات السبيكه
Dealuminification	نزع الالمنيوم
Deep draw	السحب العميق
Defects	عيوب
Deflection	إنحراف، إزاغه
Deformation	تشكيل، تشوه
Desulphurizing	إنتزاع (نزع) الكبريت
Deoxidized arsenical copper	نحاس زرنيخي مختزل
Deoxidizer	عامل (ماده) مختزله
Dezincification	إنتزاع (نزع) الخارصين
Die	قالب
Diaphragms	فتحات القزحيه
Die edge	حافة القالب
Diffusion welding	لحام إنتشاري
Digging in	حفر، نقر

Direct current electrode negative	القطب السالب للتيار المباشر
Direct extrusion	البثق المباشر
Direct heating furnace	فرن ذو تسخين مباشر
Dislocations	إنخلاعات
Dislocation energy	طاقة الانخلاعه
Docas clay	تربه قاعديه
Down spot	مصبات (مسبك)
Draw bench	منصة ماكنة السحب
Drawing	سحب
Drawing coefficient	معامل السحب
Drawing force	قوة السحب
Drawing speed	سرعة السحب
Drawing tools	عُدد السحب
Drilling	تثقيب
Drills	مثاقب
E	
Earings	أفراط
Ease of fabrication	سهولة التشكيل
Eddy currents	تيارات دوامه
Edge rolls	مدرفلات طرفيه (موجهه)

Elbow	مرفق، مفصل
Electrode	قطب كهربائي
Electric conductivity	توصيليه كهربائيه
Electron beam welding	لحام الحزمه الالكترونيه
Electronic phase	طور الكتروني
Electrolytic	الكتروليتي
Electrolytic tough pitch copper	نحاس نقي متين الكتروليتي
Elongation	إستطاله
Embedded scales	قشور مطموره (مغروسه)
Embrittlment	هشاشه
Emulsion	مستحلب
E.P. oils (extream pressure oils)	زيوت الضغط العالي
Erosion corrosion	تأكل التعريه
Exposure	تعريض
Extrusion	بثق
Extrusion force	قوة البثق
Extrusion speed	سرعة البثق
Extrusion ratio	نسبة البثق
Extrusion temperature	درجة حرارة البثق

F	
Face centered cubic (fcc)	مكعب متمركز الوجه
Failure	فشل
Feeding rate	معدل التغذيه
Filler metals	معادن حشو
Fissures	تشققات ضيقه ومتوازيه
Finishing operation	عملية الانهاء (التشطيب)
Fire refined tough pitch copper	نحاس غير كامل الاختزال منقى بالنار
Fire refinery	التنقيه بالنار
Fixed plug	السداده الثابته
Flash furnace	الفرن الومضي (المتوهج)
Flaw	خلل، عيب
Floating plug	السداده العائمه
Forming	تشكيل
Four high rolling mill	ماكنة درفله رباعية المدرفلات
Free cutting	تشغيل ممتاز
Fretting wear	بلي الفرك
Fluidity	سيوله
Fluxes	مواد صهوره (مساعده على الصهر)

Forehand	منجز على نحو تكون فيه راحة اليد مماله باتجاه حركة اليد
Fracture	كسر
Friction welding	لحام إحتكاكي
Furnace	فرن
G	
Galvanic Corrosion	تأكل كلفاني
Gasket	حشيه
Gap	فجوه، فاصله
Gas Metal Arc Welding (GMAW)	لحام القوس المعدني الغازي
Gasoline	نفط ابيض، كازولين
Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)	لحام قوس التنكستن الغازي
Gears	تروس، مسننات
Grain	حبيبه، بلوره
Grain Growth	نمو حبيبي، نمو بلوري
Grain Boundaries	حدود بلوريه
Graphite	كرافيت
Graphite Grease	شحم كرافيتي
Grinding	تنعيم
Gear Box	صندوق تروس
Grain Size	مقاس حبيبي
General Thining	ترقيق عام

Grooved Rollers	مدرفلات محزوه
Grooved Rolling	درفله باستخدام مدرفلات محزوه
H	
Hardness	صلاده
Heat exchanger tubes	أنابيب المبادلات الحراريه
Helix angle	زاوية الحلزنه
Hexagonal close packed	سداسي متراص (مكتظ)
High frequency current	تيار عالي التردد
High sulphied soil	تربه كبريتيديه
Hot cracking	التشقق الحار
Hot shortness	هـشاشية درجـات الحـرارة العاليـه، هشاشيه حاره
Hot drawing	سحب علي الحار، سحب حار
Holders	ماسكات، حاملات
Homogenizing	تجانس
Horizontal convertors	المحولات الافقيه
Horizontal continuous casting	السباكه المستمره الافقيه
Hot dipping	الغطس الحار
Hot rolling	الدرفله الحاره، الدرفله علي الحار
Hot working	التشكيل الحار، التشكيل علي الحار
Hydrostatic	الهيدروستاتي
Hydrogen imbrittlement	هشاشية الهيدروجين

Hydromechanical screw down	لولب تصغير المقطع الهيدروميكانيكي
Heat treatment	معامله، او معالجه حراريه
I	
Impact extrusion	البثق الصدمي
Impigement corrosion	التآكل الارتطامي
Impurities	شوائب
Indirect extrusion	بثق غير مباشر
Induction coil	ملف الحث
Induction loop furnaces	أفران حلقيه حثيه
Inclusions	إكتنافات، متضمنات
Intercrystalline corrosion	تآكل بين البلورات
Intermediat annealing	تلدين وسطي
Intermediat rolls	مدرفلات وسطيه
Intermetallic compounds	مركبات معدنيه
International Anneald Copper Standard (IACS)	النحاس الملدن القياسي العالمي وتكون توصيليته الكهربائيه مساويه 100 (IACS)%
J	
Joining	وصل
Joint	وصله
L	
Lap joint	وصله متراكبه

Lathe machine	مخرطه
Leaching	النض (الغسل بالحامض)
Leaded brass	براص الرصاص
Lining	بطانه، تبطين
Longitudinal rolling	درفله طوليه
Low zing brass	براص منخفض الخارصين
Lubrication	تزييت
M	
Machinability	قابلية التشغيل، التشغيليه
Machining	تشغيل
Machining by form tools	تشغيل بعُدد(سكاكين) التشكيل
Macrostructure	بنيه عيانيه (ترى بالعين المجرده)
Magnetic permeability	السماحيه (المنفذيه) المغناطيسيه
Main cylinder	الاسطوانه الرئيسه
Mandrel	قلب التشكيل
Mass production	إنتاج كمي
Master alloy	سبيكه رئيسه، سبيكه أساسيه
Matte	مصهور كبريتيدي
Mechanical screw down	لولب تصغير مقطع ميكانيكي
Mechanized applications	تطبيقات ممكننه
Melting	صهر
Metal	معدن، فلز

Metal withdraw rate	معدل سحب المعدن
Microcracking	التشقق الدقيق
Micro duplex hardening	تصليد دقيق مزدوج
Mild steel	فولاذ مطيل
Milling	تفريز
Mineral oils	زيوت معدنيه
Modulus of rigidity	معيار الجسوء
Mould	قالب سباكه
Muntz metal	معدن مونتز(براص 60-40)
N	
Non corrosive materials	مواد غير أكاله
Nugget	نقطه (منطقه) اللحام النقطي
O	
Ordinary tough pitch copper	نحاس نقي متين إعتيادي
Optical emission	إنبعاث ضوئي
Optimal gap	الخلوص الامثل
Orange peel	قشره البرتقال
Order hardening	التصليد المنتظم
Out-of-position welding	لحام خارج الموضع (المكان)
Oxcyacetylen welding	لحام بلهب الاوكسي أستلين
Oxide	أوكسيد
Oxidizing solution	محلول مؤكسد

Oxygen containing copper	نحاس حاوي علي الاوكسجين
Oxygen free copper	نحاس خالي الاوكسجين
Oxygen free high conductivity copper	نحـاس عـالي التوصـيليه خـالي مـن الاوكسجين
P	
Part per million(ppm)	جزء من المليون
Passes	تمريرات
Permeability	السماحيه، المنفذيه
Phase	طور
Phosphorus deoxidized copper	نحاس فسفوري مختزل
Pickling	غسل كيميائي (حامضي)
Pipes	مواسير
Piston	مكبس، كباس
Pitting	تنقر
Plasticity	لدونه
Planetary rolling mill	ماكنه درفله كوكبيه
Plate	لوح، لوحه
Plasma Arc Welding	لحام قوس البلازما
Plasting	طلاء
Pneumatic pressure	ضغط هوائي
Polishing	صقل
Polyhdral α- structure	بنيه الفا متعددة السطوح

Poorly aerated soil	تربه رديئة التهويه
Porosity	مساميه
Precipitation hardening	التصليد بالترسيب
Preferred orientation	إتجاه بلوري تفضيلي
Preheating	تسخين مسبق
Pressure medium	وسط ضغط
Pressure platen	إسطوانه ضغط
Product defects	عيوب المنتجات
Proof stress	إجهاد الصمود
Propellers	دفّاعات السفن
Pull block	ماكنه سحب أنابيب وأسلاك
Pump	مضخه
Punch	اداة تخريم، سنبك
Punching	تخريم
Punching force	قوة التخريم
Punching speed	سرعة التخريم
Pusher	دفّاع، دافع
Push rolls	مدرفلات الدفع
Pyrometallurgy	الميتالورجيا الحراريه
Q	
Quenching	إخماد
Quench hardening	التصليد بالاخماد

Quality	نوعي
Quench cracking	تشقق الاخماد
R	
Radiators	مشعات
Rake angle	زاوية الجرف لعدد(سكاكين) القطع
Ram	ذراع الكبس
Readily machinable	سهل التشغيل
Reagent	محاليل مظهره (كاشفه)
Reaming	توسيع الثقوب
Reciprocating steam engine	المكائن البخاريه الهزازه
Reduction	تخفيض، إختزال
Reducing flame	لهب مختزل
Resin based material	ماده ذات أساس راتينجي
Reverberatory furnace	الفرن العاكس
Reverberatory roof	السقف العاكس
Ring insert	وليجه(حشيه) حلقيه
Rolling load	حمل الدرفله
Rivet	برشام
Root face	وجه جذر
Rolls	مدرفلات، درافيل
Root openings	فتحات جذر

S	
Sacrificial anode	مصعد (أنود) التضحيه
Sanitary system	نظام صحي
Scarf butt joint	وصل تناكي قِراني
Scored die	قالب مخدوش
Scrap	خرده (سكراب)
Seam	ثنيه، ندبه، درزه
Seam welding	لحام الدرز (مستمر)
Season cracking	التشققات الآنيه (الفصليه)
Secondary cooling	التبريد الثانوي
Selenium	معدن السلينيوم
Semicontinuous casting	السباكه شبه المستمره
Shear stress	إجهاد قصي
Sheet	صحيفه
Shaped tubes	أنابيب مشكله
Shear cylinder	إسطوانه قطع (قص)
Shield gases	غازات تغليف (حمايه)
Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	لحام قوس المعدن المغلف (المحجوب)
Silver	فضه
Single phase	طور إحادي
Single pointed tools	عُدد (سكاكين) إحاديه النقطه
Slab	بلاطه

Slag	خبث
Slivers	شظايا
Soft	لين
Softening	تليين
Soil	تربه
Solidification	تصلب
Solid state oscillator	مذبذب الحاله الصلده
Seal	سداد محكم
Solid solution	محلول جامد
Soluble oils	زيوت ذائبه
Soundness	تماميه
Spark resistance	مقاومة الشراره
Spectrometer	مطياف
Spot welding	لحام النقطه
Spray transfer	تحول (إنتقال) رذاذي
Static casting	سباكه مستقره (ثابته)
Stainless steel	فولاذ مقاوم للصدا
Steel	فولاذ
Spinodal decomposition hardening	تصليد بالتحلل المغزلي
Straightening	تعديل
Straight flute drills	مثاقب مسطحه
Strain	إنفعال

Stress	إجهاد
Stress corrosion cracking	تشقق التآكل الاجهادي
Strength	مقاومه
Stress relieving	إزالة الاجهادات
Stress rupture	تمزق إجهادي
Strengthening	تقويه
Structure	بنيه، تركيب
Structure of binary brass	بنيه البراص المزدوج
Submered arc welding (SAM)	لحام القوس المغمور
Surface profile	جانبية السطح
Surface tension	الشد السطحي
Surface cracking	تشقق سطحي
Surface finish	إنهاء سطحي
Synthetic cutting fluids	زيوت قطع صناعيه
Swarfs	رقائق معدنيه
T	
Tack weld	لحام لدغي
Tap hole	فتحة الصب (في الفرن العالي)
Tapered mandrel	قلب تشكيل مستدق
Tapping	تشغيل المسننات
Tellurium	عنصر التليريوم
Tempering	مراجعه

Tensile strength	مقاومة شد
Thermal conductivity	توصيليه حراريه
Thermal expansion coefficient	معامل التمدد الحراري
Thinning	ترقيق
Toughness	متانه
Tolerance	التفاوت المسموح به، السماح
Thickness	سماكه، سمك
Three high mill	ماكنه درفله ثلاثية المدرفلات
Tin brass	براص القصدير
Tombac	تومباك (سبيكه نحاس خارصين (CuZn10
Tough pitch copper	نحاس نقي متين
Torch	مشعل
Transformation hardening	التصليد التحولي
Turbulent flow	جريان مضطرب
Turning	خراطه
Two- high mill	ماكنه درفله ثنائية المدرفلات
Two- phase aluminum bronze	برونز الالمنيوم ثنائي الطور
U	
Unified Numbering System (UNS)	نظام الترقيم الموحد
Units	وحدات

V	
Vacuum furnace	فرن مفرغ من الهواء
Valves	صمامات
Vacancies	فجوات، شغور ذريه
Ventilation	تهويه
Vertical casting	سباكه عموديه
Vertical score	خدوش عموديه
W	
Walking beam furnaces	أفران ذات أذرع
Washers	فلكات (حلقات مطاطيه او معدنيه لمنع الارتشاح)
Weight loss data	بيانات فقدان الوزن
Welding beads	عقد (درزات) لحام
Welding tourch	مشعل لحام
Weldments	ملحومات
Well aerated soil	تربه جيدة التهويه
Widening	زيادة العرض
Wire drawing	سحب الاسلاك
Work piece	شغله، المشغوله
Working rolls	المدرفلات العامله
Wrinkles	ثنيات، تجعدات

Y	
Yield of production	كفاءة الانتاجيه
Yield strength	مقاومة الخضوع
Young modulus	معيار المرونه
Z	
Zinc	خارصين
Zone	منطقه

النحاس وسبائكه

انتاجه وبنيته وتطبيقاته





عمان - وسط البلد - مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس: ٤٦٢٠٩٩٠ ٦ ٩٦٢+ ص.ب: ١٨٤٠٣٤ عمان: ١١١١٨ الأردن

e-mail:daralmuotaz@yahoo.com